

„Entwicklung, Planung und Bau eines neuartigen, wandelbaren Gebäudeprototypen für die symbiotische Nutzung eines energieautonomen Schulungs-Gewächshauses in Berlin“

Abschlussbericht des Forschungsprojektes

(AZ 3216/01-25) Berlin, 12.12.2025

Verfasser: Dipl.-Ing. Dirk Peissl

Technische Universität Berlin
Institut für Bauingenieurwesen
Fachgebiet Entwerfen u. Konstruieren - Massivbau

Projektförderung

DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Dipl.-Ing. Sabine Djahanschah

Projektpartner

sbp sonne gmbh
Dr. Gerhard Weinrebe, Vanessa Lippert, Fabian Gross, Gabriele Furlan, Alf Oschatz

TU Berlin Berlin/ Institut für Bauingenieurwesen/ FG Entwerfen u. Konstruieren - Massivbau
Prof. Dr. Sc. techn. Mike Schlaich, Dirk Peissl, Sofia Moissiadis

TU Berlin / Institut für Ökologie/ FG Klimatologie
Prof. Dr. Dieter Scherer, Dr. Fred Meier, Thomas Gentsch

Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf von Berlin
Oliver Schruoffeneger (Bezirksstadtrat)

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin
Isabell Simonsmeier

FU Botanischer Garten Berlin
Thomas Laute, Henriette Wilke Karsten Schomaker

FA Modesta GmbH & Co. KG
Guido Hanke, Dieter Linke

FA Viessmann GmbH & Co. KG

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt umfasste den modellhaften Neubau eines neuartigen, energieautonomen Schulungs-Gewächshauses mit symbiotisch funktionierenden Nutzungsbereichen für Mensch und Pflanze. Hierzu wurde während der Bearbeitungszeit ein ganzheitliches 1:1-Glashaus Mock-Up mit sämtlichen Komponenten wie wandelbaren Dach und- Fassadenverschattungen inklusive eines speziell darauf angepassten klimatologischen Monitoring- und Steuerkonzeptes entwickelt und baulich realisiert.

Als Leitgedanke des Forschungsansatzes wurden hierbei systematisch und synergetisch Bereiche kombiniert, die sich die teils gegensätzlichen bioklimatischen Nutzungsanforderungen hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte, Licht und Sauerstoffgehalt von Mensch und Pflanze zu Nutze machen und dadurch nachgewiesen, dass hierbei gleichzeitig der Energiebedarf des Gebäudes signifikant gesenkt und die Atmosphäre der beiden Bereiche sowohl für Pflanzen als auch für Menschen jeweils deutlich verbessert werden kann.

Die Treibhausbereiche der Pflanzen dienen hierbei als den Arbeitsräumen für Menschen (Bedarf an Kühlung, Luftfeuchtigkeit, Verschattung und O₂) vorgeschaltete „Klimaanlagen“ und konditionieren diese mit ihren „Abfallprodukten“ wie Sauerstoff, Luftfilterung und Luftfeuchte und sorgen neben einer deutlichen Verbesserung der Raumluftqualität (Staub- und Schadstoffbindung) gleichzeitig für eine psychisch-/ physiologische Bereicherung der Arbeitsplätze. Umgekehrt tragen die Emissionen der Arbeitsplatzbereiche (Abwärme der Menschen und Arbeitsgeräte, Luftbefeuchtung und CO₂-Abgabe) direkt zur Konditionierung und Beschleunigung des Pflanzenwachses bei.

Die hierbei erzielten Forschungs- und Versuchsergebnisse und der gemeinsam mit den Projektpartnern erarbeitete Gebäudevorentwurf, diente schließlich dem Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf als Entscheidungsgrundlage für die weitere Beauftragung der Planung zur Realisierung des Schulungsgewächshauses auf dem Gelände der Bezirksgärtnerei Berlin-Charlottenburg.

Basierend auf den in diesem Forschungsprojekt erfolgreich und vollumfänglich erarbeiteten Projekt- und Forschungsergebnissen, welche auch eine Änderung des Bauplatzes und eine damit einhergehende, umfangreiche architektonische und technische Anpassung beinhaltete, wurde von der Bezirksverwaltung Charlottenburg-Wilmersdorf die Objektplanung des bioklimatischen Schulungsgewächshauses an einen Generalplaner beauftragt.

Um zu gewährleisten, dass die im Rahmen dieses DBU-geförderten Forschungsprojekts gewonnenen Erkenntnisse und Forschungsergebnisse zum großen Teil berücksichtigt und sinnvoll integriert werden, haben die Kooperationspartner des Forschungsprojektes die Architekten bei der Planung des Realisierungsprojektes begleitet und die Ergebnisse in diesem Abschlussbericht bewertet.

Insgesamt konnte das neuartige und ganzheitliche Konzept eines bioklimatischen Schulungsgewächshauses in eine konkrete Umsetzung eines vollumfänglichen Mock-Ups und schließlich in eine Objektplanung übersetzt werden. Die klima-, energie- und bautechnische Effizienz des neu entwickelten Gebäudekonzeptes eines bioklimatischen Schulungsgewächshauses konnte durch eine Vielzahl von Energie-, Tragwerks- und Klimasimulationen, sowie empirische durchgeführten Versuchen am Mock-Up erfolgreich belegt werden. Auch mit dem Bau des Projektes in der Bezirksgärtnerei Berlin-Charlottenburg wurde bereits begonnen.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation des Projektes	1
2	Themenbereiche und Zielstellungen	3
2.1	Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit.....	5
2.2	Energie und Klimatechnik.....	6
2.3	Bioklimatisches Monitoring	7
3	Ergebnisse Variantenstudien und Bau des Mock-Up	8
3.1	Varianten- und konzeptstudien	8
3.2	Bau des Mock-Ups und Versuche.....	12
4	Vorentwurf und Ergebnisse Forschungsprojekt finale Variante.....	16
4.1	Entwurfsbeschreibung finale Variante	16
4.1.1	Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit.....	17
4.1.2	Energie und Klimatechnik.....	21
4.1.3	Bioklimatisches Monitoring	23
5	Resumé und Ausblick.....	24
6	Abbildungsverzeichnis.....	27
7	Literaturverzeichnis	29
8	Anhänge.....	30

A1 Anhang zum Themenbereich: **Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit**

A2 Anhang zum Themenbereich: **Energie und Klimatechnik**

A3 Anhang zum Themenbereich: **Bioklimatisches Monitoring**

A4 Anhang zum Themenbereich: **Eis-Energiespeichersystem**

A5 Anhang zum Themenbereich: **Bau des Mock-Ups**

A6 Anhang zum Themenbereich: **Botanisches Konzept**

A7 Anhang zum Themenbereich: **Didaktisches Konzept**

A8 Anhang zum Themenbereich: **Auszug Generalplanungsprojekt**

1 Ausgangssituation und Methodik des Projektes

Basierend auf der Evaluation des aktuellen konventionellen Gewächshaus- und Bürogebäudebestandes in Deutschland und dessen enormen CO₂-Einsparpotenzial (Bürogebäude: 84 TWh/Jahr, Gartenbau und Landwirtschaft: 41TWh/Jahr), wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes ein höchst energieeffizienter und innovativer Gegenentwurf hierzu konzipiert und entwickelt.

In enger Zusammenarbeit zwischen Planern und Forschern, sowie der Bezirksverwaltung B-Charlottenburg-Wilmersdorf und der Senatsverwaltung Berlin, wurde hier das Konzept und der Entwurf eines Prototyps zur gemeinsamen Nutzung eines bioklimatischen Schulungs- und Gewächshauses erarbeitet und auf dem Gelände der Bezirksgärtnerei Berlin-Charlottenburg beispielhaft - auch für die energetische Sanierung des Bestandes (Jahresverbrauch ca. 1.800 MWh/m²a) geplant.



Abb.1,2, Bezirksgärtnerei Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf

Abb.3 Skizze des Lageplans des Prototyps in der Bezirksgärtnerei B-Charlottenburg-Wilmersdorf [4]

Spezifisch in diesem Kontext besteht neben der Sanierung sämtlicher technisch veralteter Gewächshäuser der Bezirksgärtnerei B-Charlottenburg auch bei den landeseigenen Gartenarbeitsschulen in Berlin dringender Handlungsbedarf die jeweiligen Bestandsgewächshäuser CO₂-neutral und exakt mit diesem Konzept dieses Prototyps eines Schulungsgewächshauses zu ertüchtigen und zu modernisieren. Neben speziellen Hochleistungsgewächshäusern für die universitäre Forschung mit spezieller (energieintensiver) Klimatechnik und sehr einfachen Foliengewächshäusern, besteht - wie auch bei der Bezirksgärtnerei B-Charlottenburg - der Großteil der in Deutschland befindlichen Gewächshäuser aus konventionellen, einfachverglasten, mittelgroßen Gebäuden ohne außenliegenden Sonnenschutz.

Aktuell beträgt der spezifische Bedarf eines durchschnittlichen Gewächshauses (rot markiert) der Bezirksgärtnerei Charlottenburg-Wilmersdorf mit der gleichen Größe wie der geplante Prototyp (400 m²) an Heizenergie etwa 400-500 kWh/m²a, entsprechend etwa 95 m³Erdgas/m²a.



Abb.4 Gewächshaus Univ. Frankfurt/M. (links) und **Abb.5,6** Bezirksgärtnerei Berlin [4] (mitte, rechts)

Gewächshaustemperaturen [°C]		6	10	18	20	24
Gradtagsummen [Kd]		819	1490	3483	4131	5540
Gewächshaus	WärmeKennzahl		Jahreswärmebedarf pro m²		Gewächshausfläche	
ist	[W / m² K]			[kWh / m²]		
sehr gut	3,4	67	122	284	337	452
mittel	5,7	112	204	476	565	758
sehr schlecht	8,8	173	315	736	872	1170

Abb.7 Jahresenergieverbrauch pro m² Gewächshausfläche anhand der Wärme Kennzahl [4]

Das technisch und pädagogisch ganzheitliche Planungskonzept beinhaltet das Miteinbeziehen aller künftiger Gebäudenutzer bereits in der Konzept- und Planungsphase. In interdisziplinärer Planungs- und Forschungsarbeit zwischen Bauingenieuren/ Architekten, Klimaingenieuren, Botanikern, Klimatologen sowie Glasherstellern, wurde hierbei ein in dieser Form bisher einzigartiger, symbiotischer und insbesondere energieeffizienter Prototyp zur kombinierten Nutzung als Schulungs-Gewächshaus entwickelt.

Die Methodik des Forschungsprojektes bestand in den beiden parallelen Strängen „Konzeption, Entwicklung und Bau des 1:1 Mock-Ups“ und der darauf aufbauenden „Objektplanung des Schulungsgewächshaus-Neubaus“ in Berlin-Charlottenburg mit symbiotisch funktionierenden Nutzungsbereichen für Mensch und Pflanze.

Die Arbeiten lassen sich grob in 3 aufeinander aufbauende Projektphasen gliedern:

Hierbei wurde in einer 1. Planungsphase aller Projektpartner ein integrales Gebäudekonzept für zwei aneinander angrenzende Gewächshausräume als Neubau entwickelt, berechnet und simuliert. Auch wurden hierbei alle für die Baugenehmigung notwendigen Gutachten erstellt und für die Objektplanung aufbereitet.

In der 2. Phase wurde zunächst das Haupttragwerk und die baukonstruktiven Details samt wandelbarer Verschattungselemente sowie das Bioklima-Monitoring für das 1:1 Mock-Up konzipiert und entwickelt und in einem 2. Schritt alle Gebäudekomponenten (Stahlbau, Glashülle, wandelbarer Sonnenschutz, Bio-Met-Monitoringsystem, Pflanzen) in der Peter-Behrens-Halle der TU Berlin aufgebaut und für die Versuche vorbereitet.

In der 3. Phase konnte das zuvor konzipierte Monitoringsystem die Ergebnisse hinsichtlich der angestrebten Klima- und Nutzungsziele über den Zeitraum eines ganzen Jahres während des Gebäudebetriebes messen und auswerten. Gleichzeitig wurden alle Gebäudeteile – insbesondere die wandelbaren Verschattungselemente auf Dauerhaftigkeit und Belastungen getestet. Parallel dazu wurde auf Basis der Forschungsergebnisse mit der Architekturplanung des Projektes durch einen Generalplaner begonnen.

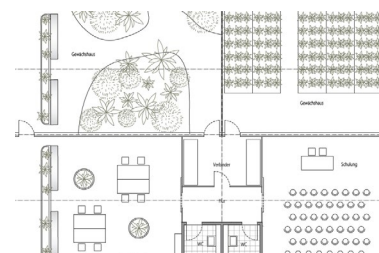
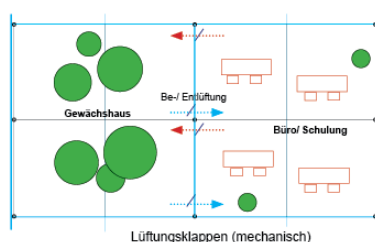


Abb.8 Schema kombinierte Nutzung [4] **Abb.9** Foto Mock-Up

Abb.10 Auszug Grundriss [9]

2 Themenbereiche und Zielstellungen

Ziel des Forschungsprojektes war der modellhafte Neubau eines neuartigen, energieautonomen Schulungs-Gewächshauses mit symbiotisch funktionierenden Nutzungsbereichen für Mensch und Pflanze. Auf dem Gelände der Bezirksgärtnerei Berlin-Charlottenburg soll dieser als prototypisches Vorbild sowohl für die energetische Ertüchtigung bestehender Gewächshäuser und Bürogebäude als auch den Neubau künftiger, bioklimatischer und energieautarker Gebäude-Hybride dienen.



Abb.11 Gewächshaus der FU Berlin [4]

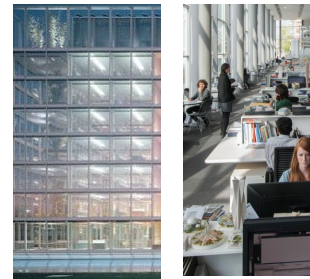
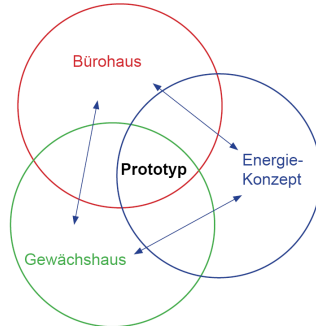


Abb.12 Bürohaus London [4]

Hierbei wurden systematisch und synergetisch Bereiche kombiniert werden, die sich die teils gegensätzlichen bioklimatischen Nutzungsanforderungen hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte, Licht und Sauerstoffgehalt von Mensch und Pflanze zu Nutze machen und dadurch gleichzeitig den Energiebedarf des Gebäudes signifikant senken.

Die Treibhausbereiche der Pflanzen dienen hierbei als den Arbeitsräumen für Menschen (Bedarf an Kühlung, Luftfeuchtigkeit, Verschattung und O_2) vorgeschaltete „Klimaanlagen“ und konditionieren diese mit ihren „Abfallprodukten“ wie Sauerstoff, Luftfilterung und Luftfeuchte und sorgen neben einer deutlichen Verbesserung der Raumluftqualität (Staub- und Schadstoffbindung) gleichzeitig für eine psychisch-/ physiologische Bereicherung die Arbeitsplätze. Umgekehrt tragen die Emissionen der Arbeitsplatzbereiche (Abwärme der Menschen und Arbeitsgeräte, Luftbefeuchtung und CO_2 -Abgabe) direkt zur Konditionierung und Beschleunigung des Pflanzenwachses bei.

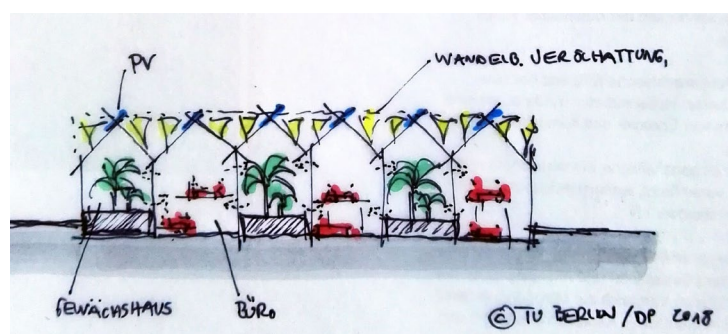
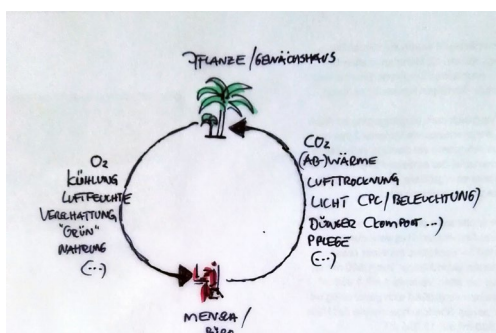


Abb.13 Schemata des bioklimatischen Kreislaufs des kombinierten Büro-Gewächshauses in B-Charlottenburg [4]

Insgesamt entstand durch den in diesem Forschungsprojekt entwickelten Ansatz ein hoch energieeffizientes Gewächshaus in Kombination mit Schulungsräumen mit der Nutzung der Abwärme, des Lichts und CO_2 aus diesen Bürobereichen für die Gewächshausbereiche. Insgesamt konnten bei der Konzeption der neuartigen Arbeitsräume in Kombination mit dem Gewächshaus gezielt die Vorteile Kühlung, Luftfilter und O_2 dieser Bereiche genutzt und nachgewiesen werden. Das Ziel eines symbiotischen bioklimatisches und energieeffizienten Schulungs-Gewächshauses konnte somit erreicht werden und wird im Folgenden erläutert.

Durch die Entwicklung eines innovativen, ganzheitlichen Gebäudekreislaufkonzeptes konnten in diesem Projekt sowohl räumlich-funktional, konstruktiv als auch energietechnisch neue und alternative Lösungswege im Bereich einer nachhaltigen Bauweise und einer CO₂-neutralen, beispielsweise regionalen Nahrungsmittelproduktion (Urban Gardening and Farming) aufgezeigt werden.

Das Projekt kann somit Vorbild für weitere Anwendungen insbesondere im Gewächshausbau- entweder direkt am Standort der Bezirksgärtnerei Charlottenburg-Wilmersdorf und der 12 Berliner Gartenarbeitsschulen-, und als Ansatz für eine neue und gesunde Generation von Bürogebäuden und kombinierten Büro- Gewächshäusern dienen, die sich symbiotisch als Organismus in einem präzise abgestimmten gemeinsamen Ökosystem in jeglicher Hinsicht autark versorgen.



Abb.14 Gewächshaus Wagenigen Universität [14]

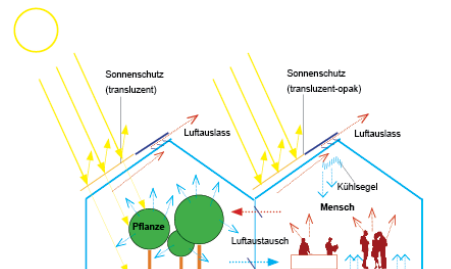


Abb.15 Schema des Schulungsgewächshauses [4]



Abb.16 Büroraum Renzo Piano, Genua [13] (rechts)

Der Lösungsweg besteht in einem spezifischen, integrativen Entwurfsansatz mittels wandelbarer Verschattung, spezifischer Glaswahl, Steuerung der Schaltung/ Lüftung von Mensch- und Pflanzbereichen sowie Art der Bepflanzung. Bei weiterer geplanter Anwendung des Prototyps besteht künftig ein enormes Energie-Einsparpotential bei der Konzeption von Gewächshausbestands- und Neubauten, sowie kombinierten Bürogebäuden.

Erklärtes unmittelbares Ziel des Forschungsprojektes war es mit der Entwicklung dieses spezifischen Projektes auch einen technisch und konstruktiv möglichen Ansatz für die Sanierung und den Neubau von geplanten Maßnahmen sowohl für die technisch veralteten Gewächshäuser der Bezirksgärtnerei B-Charlottenburg und auch der landeseigenen Gartenarbeitsschulen in Berlin zu entwickeln. In der Bezirksgärtnerei Berlin-Charlottenburg könnte somit eine konkrete bautechnische Perspektive für die energetische Sanierung des Bestandes und die Senkung des Jahresverbrauchs von ca. 1.800 MWh/a des Bestandes mit ca. 3.652 m² Gewächshausfläche aufgezeigt werden. Die Berliner Gartenarbeitsschulen haben darüber hinaus zu dieser energetischen Option auch ein für ihre spezifische Nutzung prädestiniertes Architekturkonzept für ihre Schulungsräume aufgezeigt bekommen.



Abb.17 Gartenarbeitsschule Berlin Charlottenburg [4] (links)



Abb.18 Gartenarbeitsschule Berlin-Pankow Inhalt [4] (mitte)

Abb.19 Einsparpotential [MWh/a] in Abhängigkeit der Fläche [4] (rechts)

Charakteristika	Fläche [m ²]	Bezugsgröße	Einsparpotenzial [MWh/a]
Instanzen			
1: ein Gewächshaus	400		200 MWh/a
2: Bezirksgärtnerei	3.600		1.800 MWh/a
3: zwölf Gartenbauschulen	4.800		2.400 MWh/a

2.1 Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit

Das Forschungsprojekt befasst sich mit der Analyse, der Konzeption und der Ausführung eines neuartigen, ressourcenschonenden und energetisch aktiven Schulungsgewächshauses mit kombinierten Nutzungsbereichen für Menschen und Pflanzen. Der Einsatz und die Entwicklung eines leichten und wandelbaren Tragwerks in Kombination mit einer speziell darauf abgestimmten Klima- und Gebäudetechnik spielt hierbei eine zentrale Rolle.

Die Zielvorgabe des Projektes war ein möglichst ressourcenschonendes Konzept für den Bau der Tragwerkskomponenten zu entwickeln und zu planen. Die Gebäudekomponenten setzen sich zusammen aus einem ultraleichten ressourcenschonenden Primärtragwerk aus Stahl, einer Gebäudehülle aus Glas (mit wechselnden Qualitäten für Pflanz- und Schulungsbereiche), einem außenliegenden wandelbaren Sonnenschutz, dachintegrierter Photovoltaik und Solarthermie.

Nur durch passgenaue Abstimmung der Gebäudekomponenten und Materialien wird der positive Konditionierungseffekt des maximalen solaren Eintrags im Winter, sowie der notwendigen Verschattung und Kühlung im Sommer erreicht. Die Gebäudelüftung als auch die wandelbare Verschattung kann sowohl vollautomatisiert als auch manuell gesteuert werden.

Es war weiter das Ziel des Projektes, dass sowohl das Primärtragwerk, die Gebäudehülle aus Glas, das Sekundärtragwerk für die wandelbare Verschattung in Dach und Fassadenebene, sowie die Dachintegrierte Photovoltaik, in Modulen im Werk vorgefertigt und „just-in-time“ passgenau auf der Baustelle zusammengesetzt werden sollen.

Dies führt zu einer zeitlich gut planbaren und v.a. sehr kurzen Bauzeit im Vergleich zu konventionellen Gewächshaus Projekten. Die Modulbauweise bietet zudem die Möglichkeit flexibler Erweiterung und Anwendung auf weitere Bestandsgebäude.



Abb.20 Forschungsgewächshaus Frankfurt / M. (links)

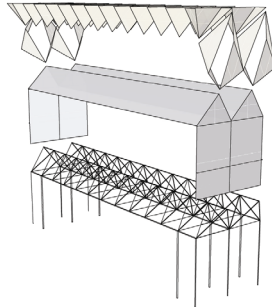


Abb.21 Komponenten Klimahülle [5] (mitte)

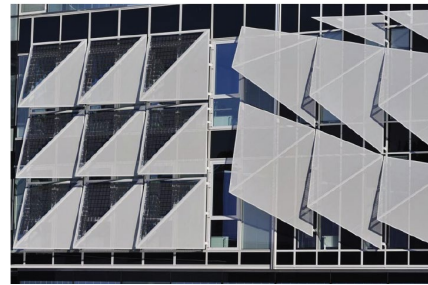


Abb.22 Verschattungselemente der University of Southern Denmark – Campus Kolding [4] (rechts)

Die spezifische Glaswahl für Pflanz- und Schulungsbereiche spielt eine wesentliche Rolle. Horizontale Verglasungen bestehen aus hochtransparentem Glas, das durch seine optimalen Lichttransmissionswerte beste Bedingungen für das Pflanzenwachstum ermöglicht. Konventionelles Floatglas filtert zu viel Licht. Deshalb sollte bei diesem Projekt ein neuartiges, hochtransparentes Glas als Isolierverglasung verbaut werden.

Für den Bau der wandelbaren Verschattungselemente ist die Entwicklung und der Bau mikroperforierter Alupaneele geplant. Diese bewirken je nach Stellung und Stanzung die Verhinderung sommerlicher Hitzestrahlung ins Gewächshaus und ermöglichen im Winter gleichzeitig den maximalen solaren Eintrag zur Beheizung des Gebäudes im Winter. Die Paneele können partiell mit integrierter Photovoltaik gekoppelt werden.

2.2 Energie und Klimatechnik

Zielstellung war die Erarbeitung eines mit allen Projektebenen abgestimmten Gesamtenergiekonzeptes. Hieraus konnte in den folgenden Schritten die hierfür notwendige Gebäudeausstattung abgeleitet und dimensioniert werden. Schließlich konnten sowohl alle einzelnen Komponenten, als auch die Steuerung und die genaue Abstimmung des „Gesamtsystems“ auf ein für die Realisierung des Schulungsgewächshauses erforderliches Planungs-niveau zur Realisierung gebracht werden. Die untenstehende Grafik zeigt die transmittierte Sonnenstrahlung durch die Verglasung in einer sommerlichen Auslegungswoche. Links im Diagramm ohne Verschattung, rechts mit Verschattung durch die angelegten wandelbaren Verschattungselemente. Die Temperatur im Gewächshaus sinkt somit selbst ohne Einsatz von zusätzlicher Heizung selten unter 0° und wird im Sommer effektiv belüftet und gekühlt.

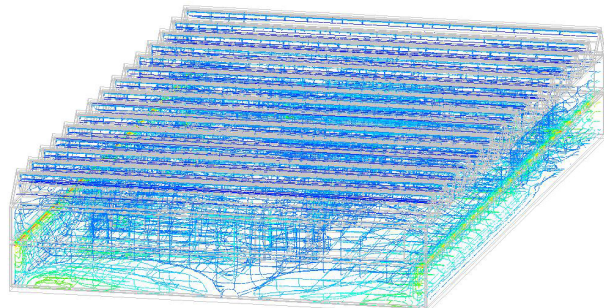
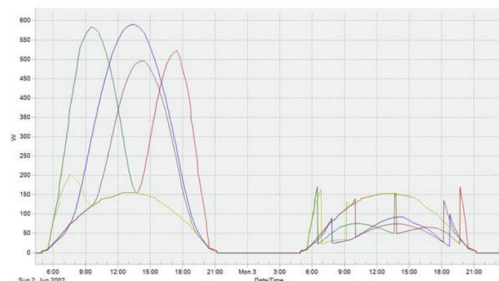


Abb.23 Transmittierte Sonnenstrahlung mit und ohne Sonnenschutz [4] **Abb.24** Simulation der Konvektion [4]

Zusätzlich sollte in weiteren Klimasimulationen ermittelt werden wie die optimalsten Temperatur- und Klimabedingungen im Gewächshaus mit möglichst einfachen Maßnahmen - beispielsweise durch Anordnung der Lüftungsöffnungen - erreicht werden kann, um den Einsatz technischer Gebäudeausstattung und die damit verbundenen Kosten möglichst gering zu halten.

Weiter wurden gezielt Vorrichtungen für Erzeugung und Abfuhr thermischer Energie, wie Vakuumröhrenkollektoren + Absorberkältemaschine + thermischer Speicher, Erdwärmetauscher für Vorkühlung /Vorwärmung der Zuluft, Außenfassadenbereiche mit Peltier-Elementen untersucht und in die Planung miteinbezogen. Sämtliche Gebäude- und Energietechnischen Konzepte wurden in spezifischen Klimasimulationen berechnet.

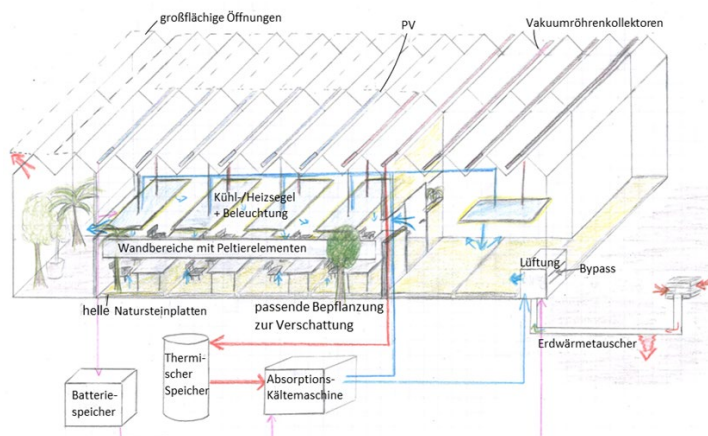


Abb.25 Schema des geplanten Gebäudetechnikkonzeptes [4]

2.3 Bioklimatisches Monitoring

Das Ziel des bioklimatischen Monitorings war die Erfassung atmosphärischer Größen, die das Wohlbefinden der Menschen und Pflanzen beeinflussen. Damit wurde eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Nutzungsziele des bioklimatischen Gebäudes geschaffen. Hierbei sollte ein möglichst langer Zeitraum (mind. ein Jahr) während des Gebäudebetriebes erfasst werden, um die jahreszeitliche Variabilität der atmosphärischen Größen zu berücksichtigen.

Die dafür notwendigen Messungen haben in den Schulungsräumen sowie in den Gewächshausbereichen in der Peter-Behrens-Halle der TU Berlin stattgefunden. Zudem wurden im Innenraum der Versuchshalle weitere Messstation aufgebaut.

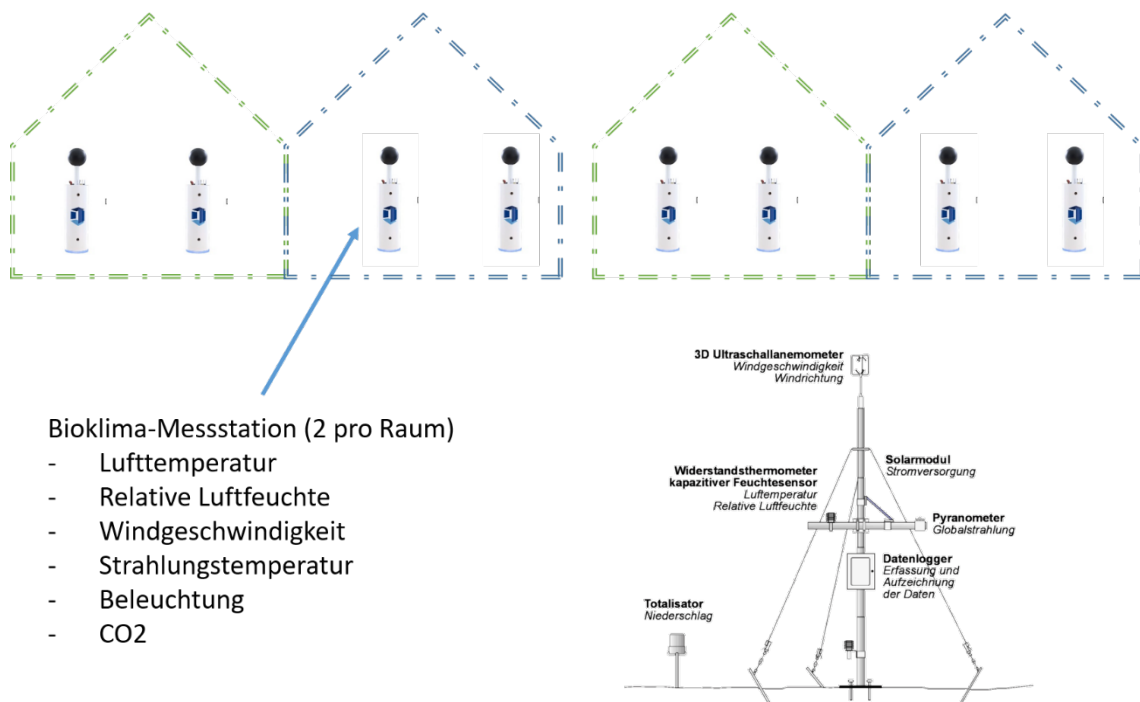


Abb.26 Gewächshaus-Prototyp mit Bioklima-Monitoring in den Büro- und Schulungsräumen [4] (oben)

Abb.27 Bioklima-Messstation [4] (rechts)

Für das Wohlbefinden bzw. die Behaglichkeit der Menschen aber auch für pflanzenphysiologische Prozesse ist der thermische Wirkungskomplex wichtig. Dieser umfasst alle meteorologischen Größen, die für den Austausch von Energie zwischen dem pflanzlichen Organismus bzw. menschlichen Körper und der Atmosphäre zur Regulierung des Stoff- und Energiehaushalts von Bedeutung sind. Die dabei entscheidenden, atmosphärischen Größen: Lufttemperatur (T_a), relative Luftfeuchte (RF), Windgeschwindigkeit (WS), Strahlung (TMRT, mittlere Strahlungstemperatur), Helligkeit (LUX) und Kohlendioxid (CO₂) werden durch das Bioklima-Monitoring erfasst. Mit Hilfe dieser Daten können human-biometeorologische Indizes z.B. Universal Thermal Climate Index (UTCI) berechnet werden, die eine Bewertung der thermischen Behaglichkeit des Menschen zulassen.

Dafür wurde zu Beginn des Projektes eine Messstation konzipiert und gebaut. Mit Hilfe von Referenz- und Vergleichsmessungen am Fachgebiet Klimatologie der TU-Berlin sollte diese Bioklima-Messstation getestet und optimiert werden.

3 Ergebnisse Variantenstudien und Bau des Mock-Up

3.1 Varianten- und Konzeptstudien

Das Forschungsprojekt befasste sich mit der Analyse, der Konzeption und der Ausführung eines neuartigen, ressourcenschonenden und energetisch aktiven Schulungs-Gewächshauses mit kombinierten Nutzungsbereichen für Menschen und Pflanzen. Der Einsatz und die Entwicklung eines leichten und wandelbaren Tragwerks in Kombination mit einer speziell darauf abgestimmten Klima- und Gebäudetechnik spielte hierbei von Beginn an eine zentrale Rolle. Der in diesem Projekt entwickelte Prototyp und dessen Varianten funktionieren dabei ganzheitlich als ein funktional, räumlich und technisch sensibel aufeinander abgestimmter Gebäudeorganismus.

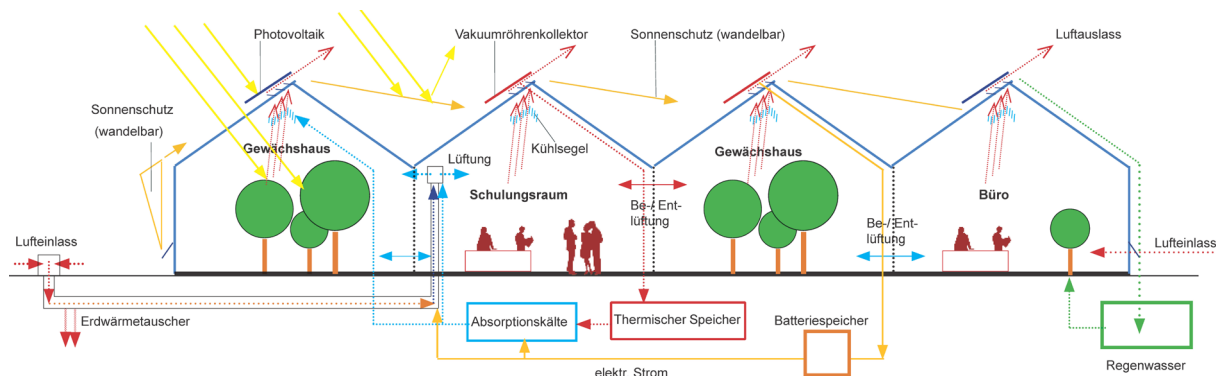


Abb.28 Schema einer Variantenstudie des Schulungsgewächshauses

Ziel war die Erforschung der Zusammenhänge zwischen den teils gegensätzlichen klimatischen Randbedingungen für einen einerseits hocheffizienten Pflanzenwuchs und eine andererseits optimale Konditionierung von Arbeitsplätzen für Menschen und deren technische und funktionale Übersetzung in ein integriertes, bioklimatisches Gebäudekonzept und dessen Steuerung.

Der Gebäudeorganismus soll hierbei so energieeffizient wie möglich und automatisiert auf unterschiedliche äußere Einwirkungen wie Licht, Temperatur und Luftqualität sowie den damit verbundenen Schutz- und Behaglichkeitsanforderungen für Mensch und Pflanze aktiv reagieren können.

Das Herzstück des Forschungsprojektes besteht aus einem mehrstufigen Versuchsaufbau der baulichen Trennung bzw. Schaltung der unterschiedlichen Gebäudezonen. Hierbei soll die effizienteste Art der Kopplung/ Schaltung der Bereiche für Mensch und Pflanze evaluiert werden. Kombiniert werden diese empirischen Vergleichsstudien durch eine gezielt darauf angepasste CO₂-neutrale Gebäudetechnik.

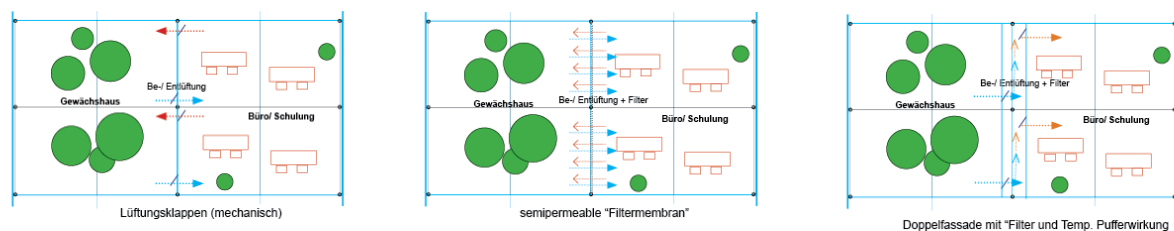


Abb.29 Schemata der unterschiedlichen Versuchsaufbauten/ Austausch zwischen den beiden Gebäudezonen

In allen Varianten sollen explizit die teils gegensätzlichen bioklimatischen Nutzungsanforderungen von Pflanze und Mensch hinsichtlich Kühlungsbedarf, Luftfeuchte und Sauerstoffgehalt etc. synergetisch genutzt und somit den Einsatz von Gebäudetechnik zur Deckung des Energiebedarfs in einem präzise abgestimmten Kreislauf des Energieflusses auf ein absolutes Minimum reduziert werden.



Abb.30 Gewächshaus FU Berlin [4] **Abb.31** Büro im Gewächshaus, Tübingen [2] **Abb.32** Büroraum, Berlin [4]

Das Klimakonzept des neuen Schulungsgewächshauses und dessen Regulierung ist unmittelbar an ein gut funktionierendes System solider, wartungsfreier und wandelbarer Öffnungs- und Verschattungselemente, sowie die automatische Steuerung der gebäudetechnischen Elemente gekoppelt. Es gliedert sich grob in drei Instanzen: Die erste Instanz des Klimakonzeptes besteht aus der spezifischen Kubatur impliziter Luftzirkulation mittels Konvektion, sowie der nebeneinander angeordneten Bereiche von Pflanze und Mensch. Die Treibhausbereiche der Pflanzen funktionieren hierbei als den Schulungsräumen für Menschen vorgeschaltete „Klimaanlagen“ und konditionieren diese bereits durch einfache Zu- bzw. Abschaltung mittels Lüftungsklappen. Umgekehrt tragen die Emissionen der Arbeitsplatzbereiche direkt zur Konditionierung und Beschleunigung des Pflanzenwachses bei.

Die zweite Instanz ist der Einsatz eines speziell entwickelten Verschattungs- und Belichtungsmechanismus. Dieser funktioniert als außenliegender, robuster und semipermeabler Sonnenschutz, der automatisiert die jeweiligen unterschiedlich sensiblen Bereiche des Gebäudes je nach Temperaturbedarf verschattet oder volle Belichtung garantiert. Gleichzeitig können ebenfalls im Projekt entwickelte, großflächig wandelbare Öffnungen in Fassade und Dach sekundenschnell auf klimatische Änderungen im Innenraum reagieren.

Die dritte Instanz ist die Entwicklung, der Bau und die Steuerung eines innovativen, und sensiblen Gebäudetechnikkonzeptes. Dieses reagiert mittels einer eigens entwickelten Sensorik auf die spezifischen klimatischen Anforderungen der Bereiche durch eine Kombinatorik aus einem saisonal genutzten Eisspeicher, Photovoltaik, einem speziell ausgelegten und entwickelten System an lichtpermeablen Heiz-Kühlsegeln in der Dachebenen, sowie der Anwendung eines speziellen hoch lichtdurchlässigen Wärmeschutzglases.

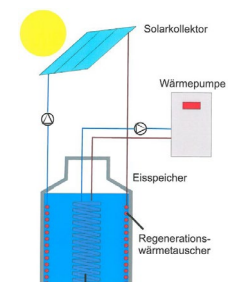
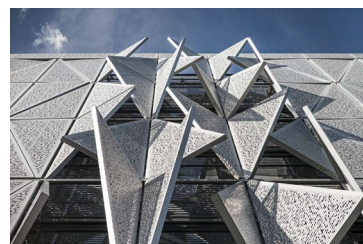
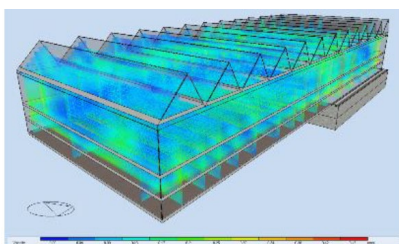


Abb.33 Simulation der Konvektion [3] **Abb.34** Semipermeable Verschattung [12] **Abb.35** System Eisspeicher

Der geplante Bauplatz, die Gewächshausanlage der Bezirksgärtnerei Charlottenburg-Wilmersdorf, besitzt eine Grundstücksfläche von 41.021,00 m² (Bezirksgärtnerei: 22.071,00 m², Erweiterungsfläche: 18.950,00 m²). Die Gewächshausfläche beträgt 3.652,50 m². Zusätzlich gibt es auf dem Gelände Folienhäuser auf einer Fläche von 1.613,00 m².



Abb.36 Luftbild der Bezirksgärtnerei

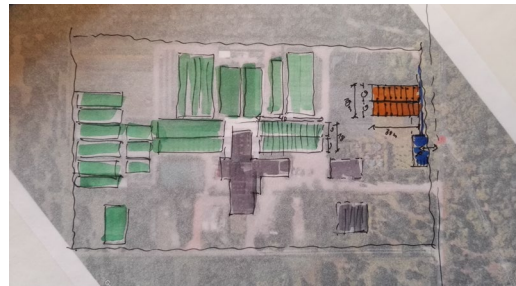


Abb.37 Geplante Lage des Neubaus (orange) auf dem Gelände

Das Ensemble besteht aus 10 fest eingedeckten Gewächshäusern, 10 Folienhäusern (siehe auch: Exposé der Bezirksgärtnerei im Anhang 4) und 8 Gewächshäusern in Breitschiff-Bauweise, teils mit Verschattungsanlage. Jeweils zwei zusammenhängende Gewächshäuser sind durch eine Trennwand voneinander getrennt. Diese Typologie der doppelten „Breitschiff-Bauweise“ dient als Grundlage und Bezugsgröße für das Design und die Ausrichtung des Schulungs-Gewächshauses.



Abb.38,39 Fotos „Breitschiff-Gewächshäuser“ auf dem Gelände [4]

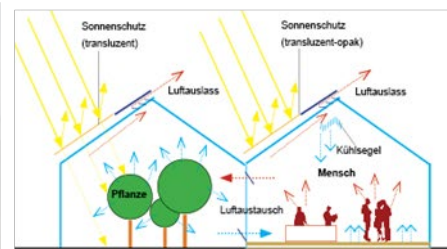


Abb.40 Schema hybride Nutzung [5]

Der Neubau des Schulungs-Gewächshauses auf dem Gelände der Bezirksgärtnerei befindet sich in Abstimmung mit der Leitung der Bezirksgärtnerei prädestiniert am nordwestlichen Rand des Grundstücks (orange). Die Größe beträgt ca. 400 m² (Länge: ca. 25 m, Breite: ca. 16 m (2 x 8 m), Höhe: ca. 6,5 m). Hierfür ist in Abstimmung mit der Bezirksverwaltung Charlottenburg-Wilmersdorf lediglich ein vereinfachtes Baugenehmigungsverfahren nach Gebäudeklasse 2 erforderlich. Der Eingang zum Gebäude liegt direkt am stark frequentierten Waldwanderweg in der Nähe des S-Bahnhofs Berlin-Grunewald und ist daher gut mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu erreichen.



Abb.41 Skizze des Neubaus (orange) auf dem Gelände

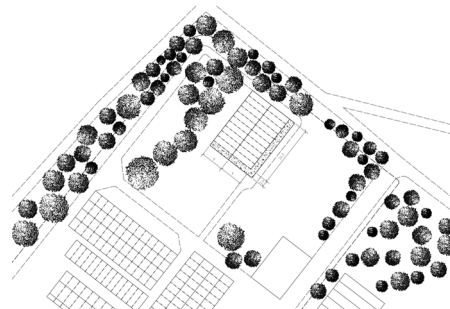


Abb.42 Lageplan des Neubaus auf dem Gelände

Das kombinierte Nutzungskonzept beinhaltet einen ca. 200 m² großen Gärtnerbereich mit ausreichend Fläche für Pflanzbeete, Pflanztische und einen Forschungsraum für botanische Versuche. Angrenzend an die Räume für Pflanzenzucht (Osten und Süden) befindet sich ein ebenso großer (200 m²) Schulungsbereich mit Platz für Seminare und Schulungen (Westen).

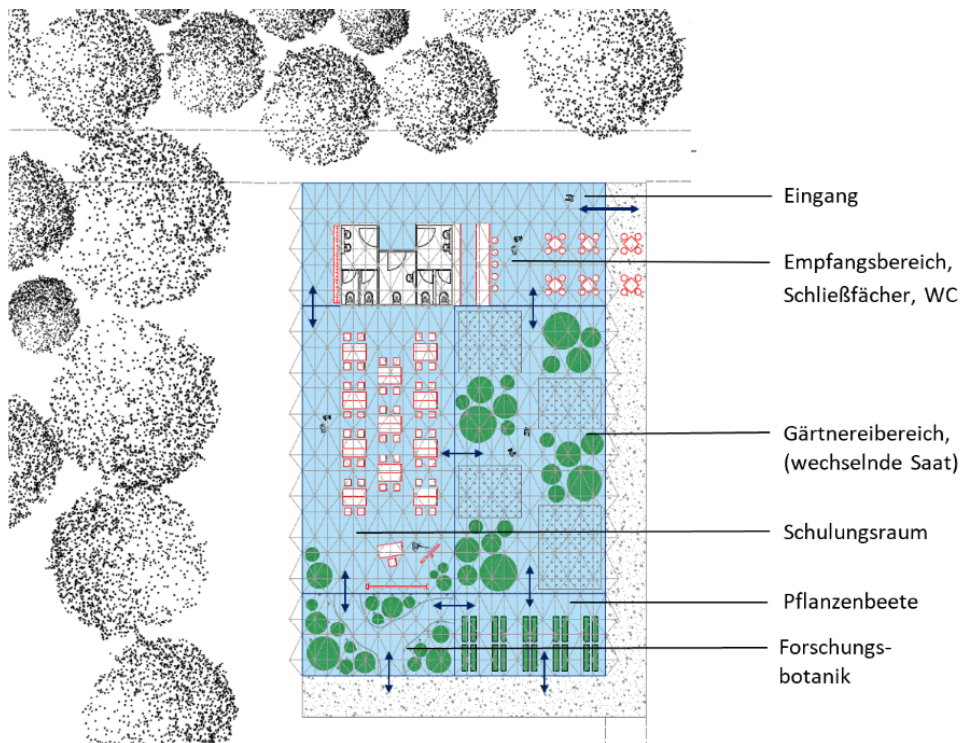


Abb.43 Schema der Variantenstudie des kombinierten Nutzungskonzeptes des Neubaus

Diese Bereiche können getrennt voneinander bespielt, jedoch auch gemeinsam genutzt und verbunden werden. Die Räume sind durch öffentbare Glaswände transparent miteinander verbunden. Eine automatisierte Steuerung ermöglicht den bioklimatischen Ausgleich hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte und Luft-/(Gas-)Zirkulation von einem Bereich in den anderen.

In Zusammenarbeit von Bezirksgärtnerei Charlottenburg und der Abteilungsleitung des Bereiches „Gewächshäuser“ des Botanischen Garten Berlin (FU Berlin) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ein für die Nutzung spezifisches Pflanzkonzept entwickelt und durchgeführt. (siehe A6 Anhang zum Themenbereich: Botanisches Konzept)



Abb.44 Bereich: Forschungsbotanik [4] **Abb.45** Gärtnerbereich 1 Saat- u. Mischnutzung [4]

Abb.46 Gärtnerbereich 2 Pflanzbeete [4]

In diesen speziellen Bereichen können die Vorzüge des konditionierbaren Gewächshauses zu besonderen - in konventionellen Gewächshäusern in dieser Art nicht möglichen - botanischen Versuchen und für die Pflanzenzucht im Gärtnerbetrieb genutzt werden.

3.2 Bau des Mock-Ups und Versuche

Parallel zu den konkreten Architekturplanungen des Schulungsgewächshauses in der Bezirksgärtnerei B-Charlottenburg wurde ein vollumfängliches Mock-Up mit sämtlichen, wesentlichen Elementen wie Wänden, Dach, Dachverschattung und Fassadenverschattung entwickelt, realisiert und schließlich auf Dauerhaftigkeit getestet.

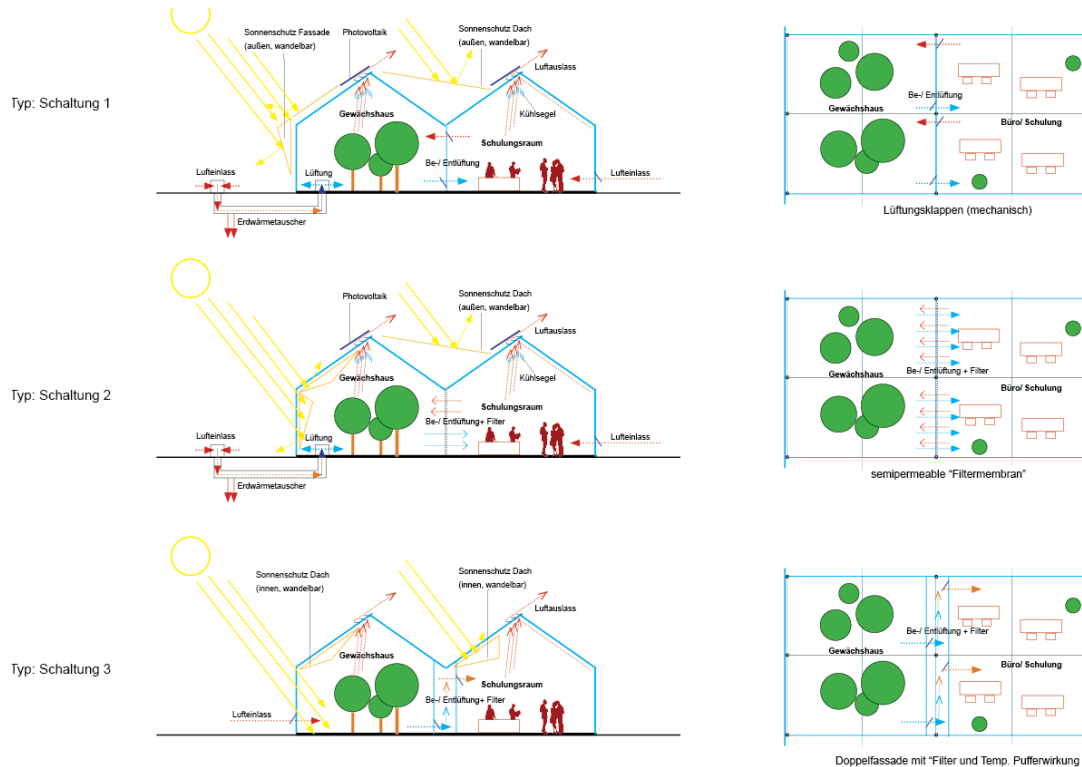


Abb.47 Versuchsaufbau Messungen / 3 Varianten zum Versuchsaufbau

Nachfolgend wurden Strategien und Vorrichtungen zur Verteilung der Heizwärme und Aufnahme der Raumwärme wie Kühl-/Heizsegel über den Sitzbereichen im Schulungsraum und im Empfangsbereich in Kombination mit hellen Natursteinplatten (nehmen über Strahlungsaustausch mit den Kühl-/Heizsegeln kühle/warme Strahlung auf und emittieren wiederum kühle/warme Strahlung) mit eingeplant. Auch die notwendige Belüftung mittels Lüftungsgerät/ Erdwärmekanal für Luftzufuhr im Empfangs- und Schulungsbereich, sowie Lüftungsöffnungen zwischen den Räumen und nicht zuletzt großflächige Öffnungsmöglichkeiten zur Abluft wurden vergleichend evaluiert und analysiert. Um ein behagliches Innenraumklima für Mensch und Pflanze zu erreichen, ist eine effektive Verschattung des Dachs sowie der Außenfassade im Westen und Osten notwendig.

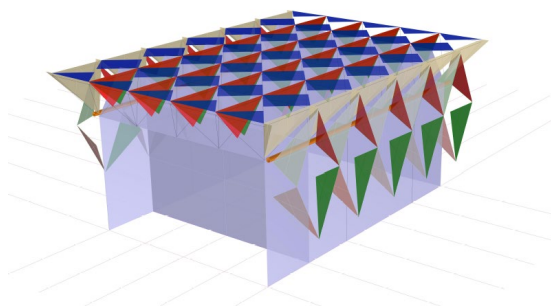


Abb.48 3D-Modell Mock-Up offene Verschattungen

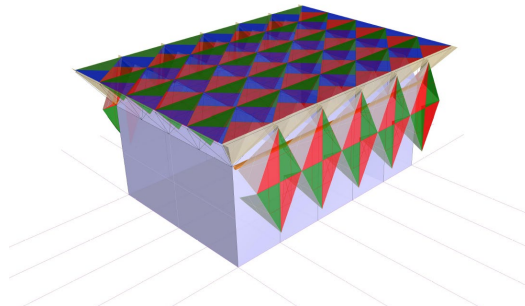


Abb.49 3D-Modell Mock-Up geschlossene Verschattungen

Im Anschluss wurde die effizienteste, kostengünstigste und ressourcenschonendste Variante, die alle Behaglichkeitskriterien von Pflanze und Mensch am besten erfüllt, beim Bau des Mock-Ups und anschließend bei der Planung des Bauprojektes realisiert.

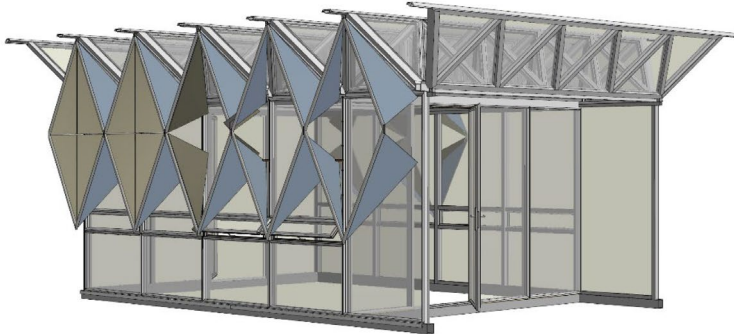


Abb.50 3D-Modell Mock-Up geschlossene Verschattungen



Abb.51 Bau des Mock-Ups, Werkstatt Modesta



Abb.52 Aufbau des Mock-Ups, Versuchshalle TU Berlin



Abb.53 Einbau der Verglasung im Mock-Up, TU Berlin

Um die für das Schulungsgewächshaus konzipierte Klimahülle vorab zu erproben, wurde das Mock-Up als Versuchsmodell der Hülle in kleinem Maßstab gebaut. Das Mock-Up bildet sowohl die Stahl-Glas-Konstruktion als auch die wandelbaren Verschattungselemente und Lüftungsöffnungen des großen Klimahüllenkonzeptes nach. Die wandelbare Fassadenverschattung ist außen vor den beiden verglasten Längswänden angeordnet.

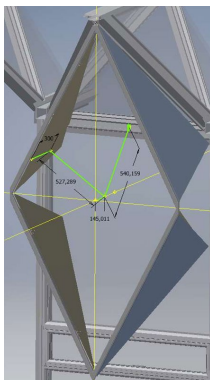


Abb.54 3D-Modell Mock-Up geschlossene Verschattungen [08]
Werkstatt Modesta

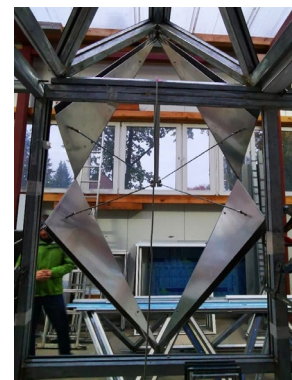
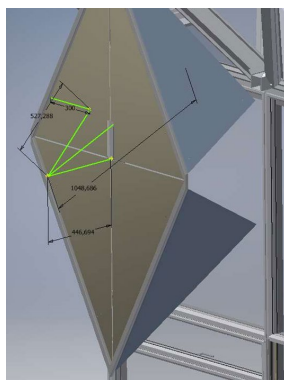


Abb.55 Bau der Verschattungselemente,
Werkstatt Modesta



Abb.56 Aufbau des fertigen Mock-Ups ohne Verschattungen, Versuchshalle TU Berlin

Im Folgenden wurden sämtliche in der Werkstatt des Kooperationspartners Modesta vorgefertigten Bauelemente der Primär- und Sekundärkonstruktion des Mock-Ups in der Peter-Behrens-Halle der TU Berlin zusammengefügt.

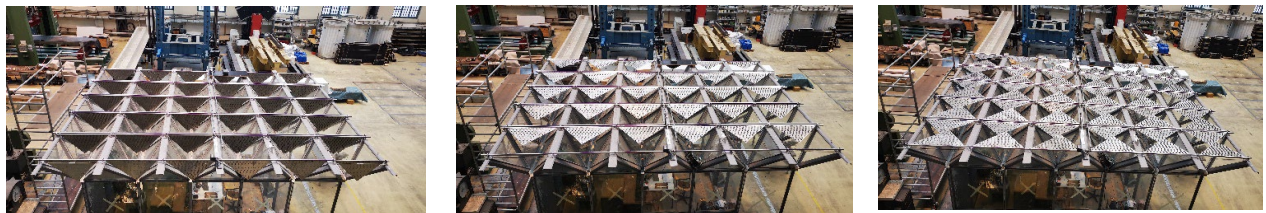


Abb.57 Aufbau des fertigen Mock-Ups mit wandelbaren Dachverschattungselementen, Versuchshalle TU Berlin

Dies umfasste neben dem Bau des primärtragwerks und Verglasungen und eines wandelbaren Verschattungselementes der Fassade auch und insbesondere die komplette wandelbare Dachverschattung mittels an Drehwellen befestigten mikroperforierten Verschattungselementen. Im *Anhang A5 zum Themenbereich: Bau des Mock-Ups* sind die wesentlichen Elemente Wände, Dach, Dachverschattung und Fassadenverschattung des Gewächshaus-Mock-Ups und dessen Konstruktion genau beschrieben. Darüber hinaus wurden umfangreiche Versuche zur Ermittlung und Evaluation der Lichtintensität und der BioMet-Messtationen durchgeführt. Hierzu wurde eigens ein weiteres Element, sozusagen als Mock-Up des Mock-Ups konstruiert und gebaut.



Abb.58 Experimentelle Untersuchung der Lichtintensität des Glases im Innen- und Außenraum, TU Berlin [06]

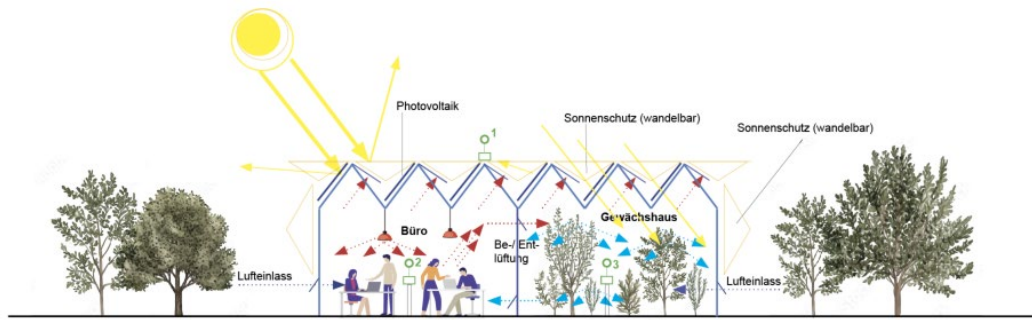


Abb.59 Schematische Skizze des Versuchsaufbaus „bioklimatische Messungen“ im Mock-Up

Die passende Bepflanzung konnte die Verschattung analog eines Biologischen Organismus-Prinzipes „Lunge/ Beatmung“ signifikant verbessern.



Abb.60 und 61 Fotos Versuchsaufbau „bioklimatische Messungen“ im Mock-Up, Versuchshalle TU Berlin

Sämtliche Gebäude- und Energietechnischen Konzepte werden in spezifischen Klimasimulationen berechnet. Die Ergebnisse dieser Simulationen werden anschließend während der Bauphase explizit empirisch in einem mehrstufigen Versuchsaufbau (siehe Schema unten) mit unterschiedlicher Auslegung, Materialität und Verbindungs-/Lüftungsvarianten zwischen Pflanz- und Schulungsbereichen gemessen, überprüft und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit analysiert.

Schließlich wird auch die Erzeugung und Speicherung elektrischer Energie mittels dachintegrierter Photovoltaik-Modulen sowie einem Batteriespeicher evaluiert.

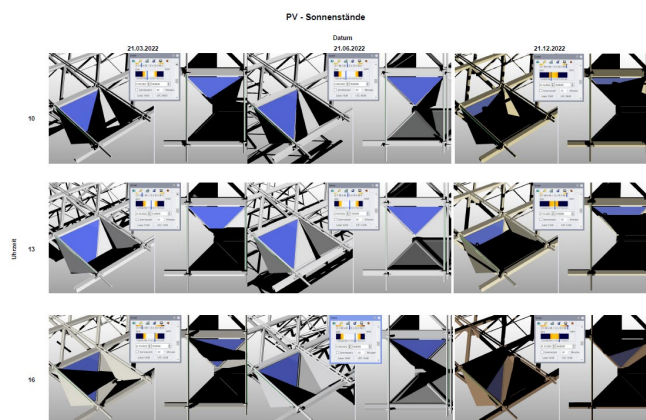
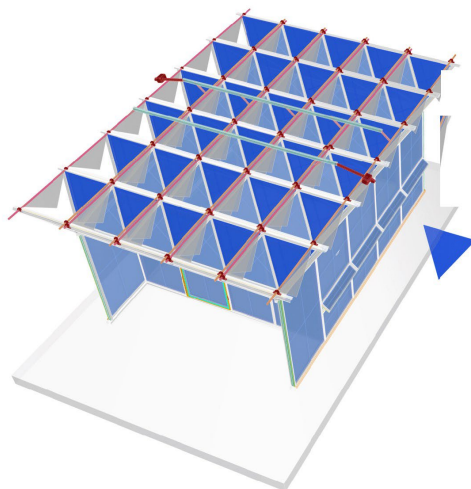


Abb.62 3D-Modell zur gebäudeintegrierten Photovoltaik im Mock-Up

Abb.63 3D-Modell mit Verschattungssimulation der gebäudeintegrierten Photovoltaik im Mock-Up

4 Vorentwurf und Ergebnisse Forschungsprojekt finale Variante

4.1 Entwurfsbeschreibung finale Variante

Der geplante Prototyp des bioklimatischen Schulungsgewächshauses Verlust sollte ursprünglich auf einer unversiegelten Rasenfläche innerhalb des Geländes der Bezirksgärtnerei errichtet werden. (siehe Kapitel 3.1) Im Laufe des Planungsprozesses wurde jedoch ein anderer Standort gewählt, der hinsichtlich der Investition und des Planungsaufwandes sicherlich aufwendiger einzustufen ist, jedoch im Sinne der Nachhaltigkeit als sehr positiv zu werten ist. Der geplante Standort befindet sich auf der Betonwanne eines Öltanklagers, das ursprünglich Heizöl für die Versorgung der Bezirksgärtnerei aufgenommen hatte.

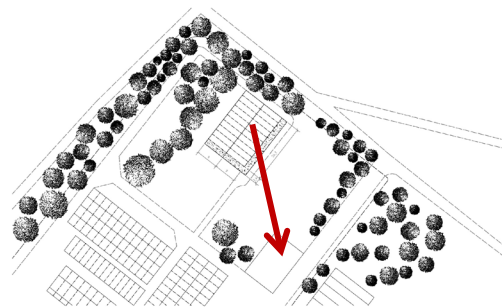


Abb.64 Luftbild der Bezirksgärtnerei **Abb.65** Geplante Lage des Neubaus auf dem Fundament des Öltanklagers

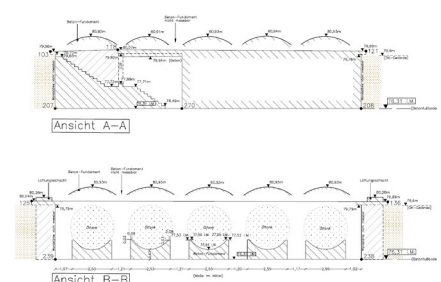


Abb.66,67 Fotos des Öltanklagers außen und innen

Abb.68 Auszug aus Vermessungsplänen Öltanklager

Nach Abbau der Öltanks und der Überdachung wird die Betonwanne derart ertüchtigt, dass das Schulungsgewächshaus darüber errichtet werden kann. Der dadurch entstehende Keller wird für technische Einrichtungen genutzt, so dass im EG alle Forschungseinrichtungen Platz finden. Hierzu wurde vom Bezirk ein Eingriffsgutachten zum Bauvorhaben beauftragt.

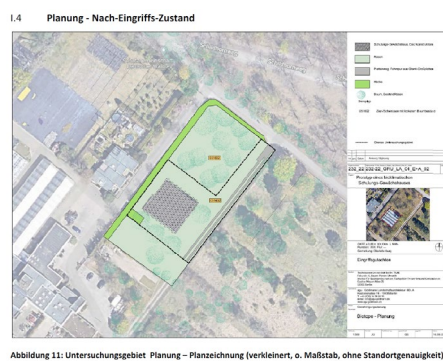


Abbildung 11: Untersuchungsgebiet Planung – Planzeichnung (verkleinert, o. Maßstab, ohne Standortgenauigkeit)



Abb.69 Auszug aus dem Eingriffsgutachten [11]

Abb.70 Foto des Öltanklagers nach Entnahme von 3 Öltanks

4.1.1 Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit



Abb.71,72 Fotos des Öltanklagers außen

Abb.73 Foto des Öltanklagers nach Entnahme von 3 Öltanks

Das Gutachten kam schließlich zu dem Schluss, dass das Schulungsgewächshaus hinsichtlich Flächeninanspruchnahme, bestehender Versiegelung, Schonung nicht versiegelter bzw. Vegetationsfläche mit der Standortwahl im ökologischen und städtebaulichen Kontext hervorragend auf die gegebene Situation eingeht. Darüber hinaus werden keine Bäume gefällt. Das auf Dachflächen anfallende Regenwasser wird in angrenzenden Rasen-/Vegetationsmulden und im Gewächshaus selbst versickern. Dadurch werden gegenüber der Bestandssituation positive Effekte hinsichtlich des Schutzgutes Wasser erzielt. Das Orts- und Landschaftsbild wird nicht wesentlich beeinträchtigt, das sich städtebaulich in die vorhandene bauliche Situation aus Glas-/Gewächshäusern und sonstigen Betriebsgebäuden der Bezirksgärtnerei Charlottenburg-Wilmersdorf einfügt. Somit sind keine Ausgleichsmaßnahmen erforderlich.

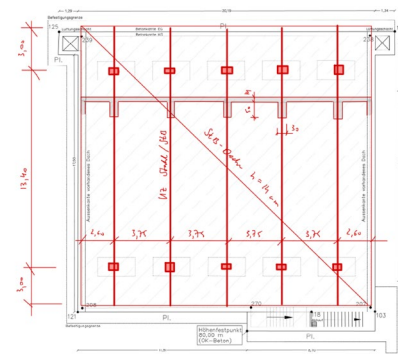
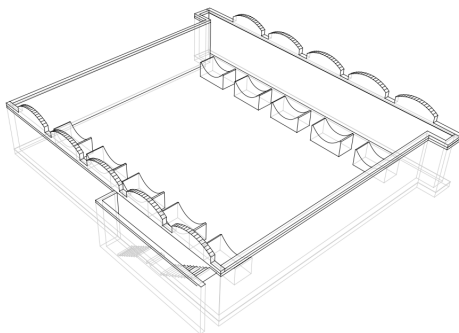


Abb.74 3D-Modell des Fundamentes des Öltanklagers **Abb.75** Schematische Darstellung Deckenkonstruktion [10]

Im Folgenden werden die vier wesentlichen Schritte der Bauabschnitte von der Entnahme der Öltanks bis hin zur Erstellung der Glaskonstruktion und schließlich der außenliegenden Elemente wie PV-Elemente und Verschattungen schematisch dargestellt:

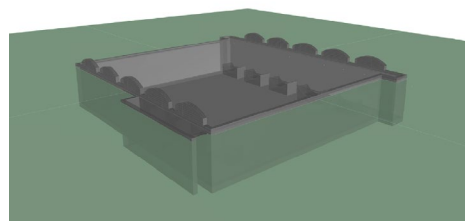
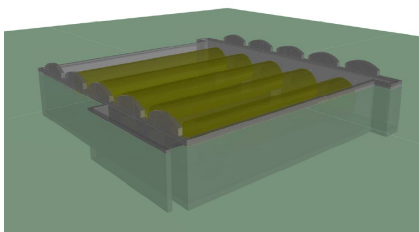
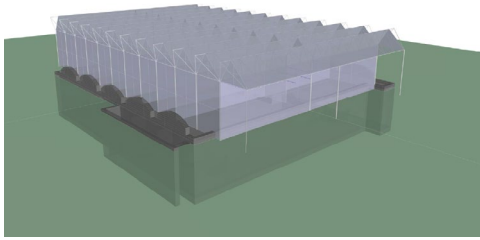
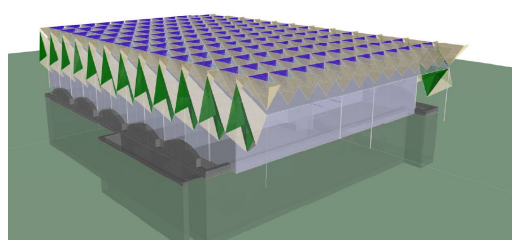


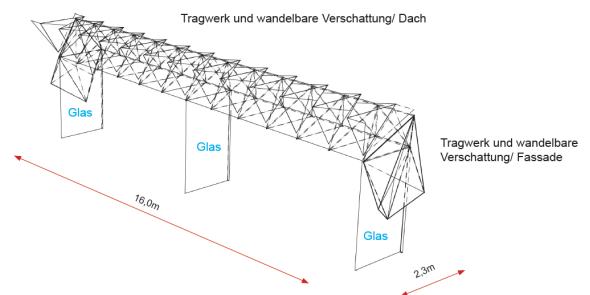
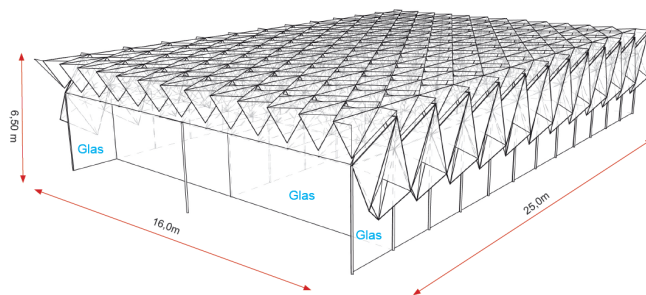
Abb.76 3D-Modell des Bauabschnitts 1

Abb.77 3D-Modell des Bauabschnitts 2

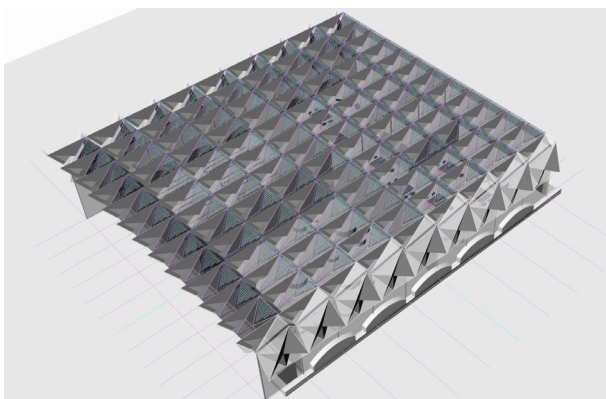
**Abb.78** 3D-Modell des Bauabschnitts 3**Abb.79** 3D-Modell des Bauabschnitts 4

Die Gebäudekomponenten setzen sich zusammen aus einem ultraleichten ressourcenschonenden Primärtragwerk aus Stahl, einer Gebäudehülle aus Glas (mit wechselnden Qualitäten für Pflanz- und Schulungsbereiche), einem außenliegenden wandelbaren Sonnenschutz, dachintegrierter Photovoltaik und Solarthermie. (genaue Spezifikationen siehe Anhang A2 zum Themenbereich: Energie und Klimatechnik)

Die außenliegende wandelbare Verschattung kann im ausgefahrenen Zustand eine sommerliche Überhitzung verhindern und im zusammengefahrenen Zustand im Winter den maximalen solaren Eintrag ermöglichen.

**Abb.80** 3D-Modell und Proportionen des gesamten Tragwerks mit wandelbaren Verschattungen (links)**Abb.81** 3D-Modell und Proportionen eines Tragwerkmoduls mit wandelbaren Verschattungen (rechts)

Für den Bau der wandelbaren Verschattungselemente wurde der Bau spezieller mikroperforierter 3-eckiger Paneele geplant und entwickelt. Diese bewirken je nach Stellung und Stanzung die Verhinderung sommerlicher Hitzestrahlung ins Gewächshaus und ermöglichen im Winter gleichzeitig den maximalen solaren Eintrag zur Beheizung des Gebäudes im Winter. Die Paneele werden partiell mit integrierter Photovoltaik gekoppelt.

**Abb.82** 3D-Modell mit dachintegrierter Photovoltaik (links)**Abb.83** 3D-Modell+ Collage des kombinierten Nutzungskonzeptes mit Pflanz- und Schulungsbereichen (rechts)

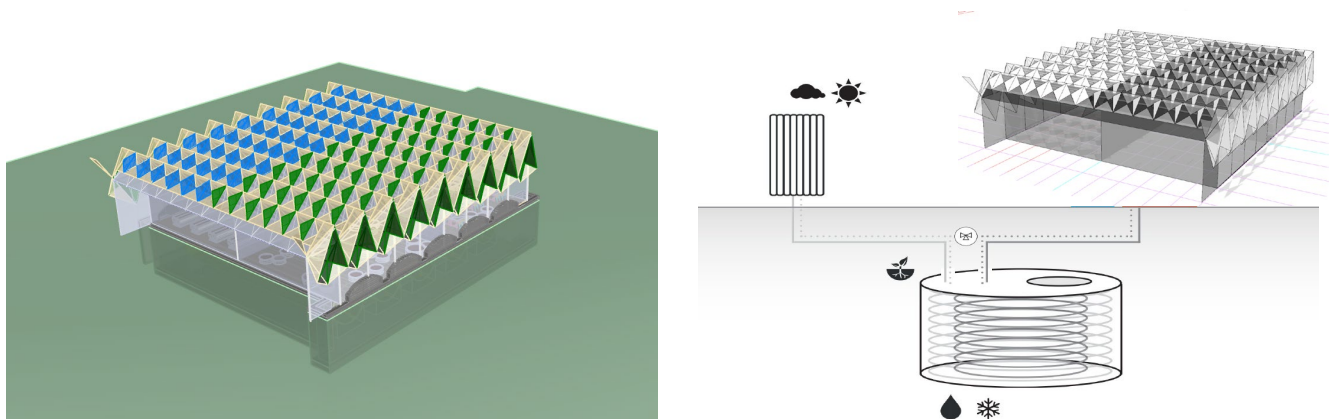


Abb.84 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit Photovoltaik- und Verschattungsbereichen

Abb.85 3D-Modell mit Eisspeicher und Energiezaun (schematisch)

Zur Steigerung der Energieeffizienz wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts neben dem Bau der dachintegrierten Photovoltaik im Bereich der Schulungszone auch die Implementierung eines Eis-Energiespeichersystems für die kombinierte Heiz- und Kühlversorgung genauer untersucht und geplant (siehe Anhang A4 zum Themenbereich: Eis-Energiespeichersystem). In der finalen und favorisierten Variante wurde der Speicher auf eine nutzungsadäquate Größe von 93,3 m³ reduziert. Die Regeneration erfolgt über 12 Energiezäune, welche sich im Außenraum der Bezirksgärtnerei befinden, und gleichzeitig auch als funktionale Trennung der Besucher des Schulungsgewächshauses von der Gärtnerei dienen.

In enger Abstimmung mit den Projektpartnern und unter besonderer Berücksichtigung der Interessen des Bezirkes Charlottenburg-Wilmersdorf als Bauherr wurde während der Entwicklung und Umsetzung des Prototyps auch für Bildungsangebote, wie etwa der langen Nacht der Wissenschaften, geöffnet. Künftig geplant ist den Schulungsbereich für kleine Konferenzen und Bildungsangebote zu nutzen, um den Nutzern das Thema Gärtnerei, Gewächshaustechnik und Natur im direkten Kontakt mit der Pflanzenwelt und deren Gärtnereimethodik nahe zu bringen.

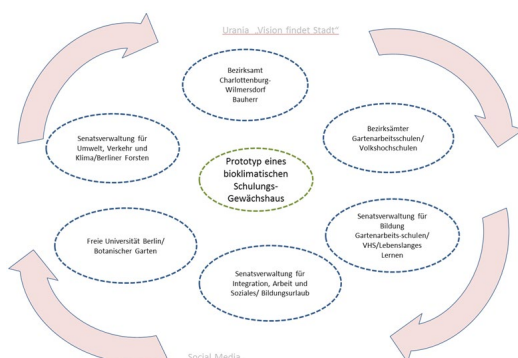


Abb.86 Systemskizze Vernetzung der Institutionen im Schulungskonzept

Grundsätzlich kann das Schulungsgewächshaus in einer Doppelrolle genutzt werden: Als explizit zum Thema Nachhaltigkeit ausgewiesener Bildungsgegenstand (non-formales Lernen) und als Aufenthaltsort für Veranstaltungen ohne inhaltlichen Bezug zum Schulungsgewächshaus (informelles Lernen).

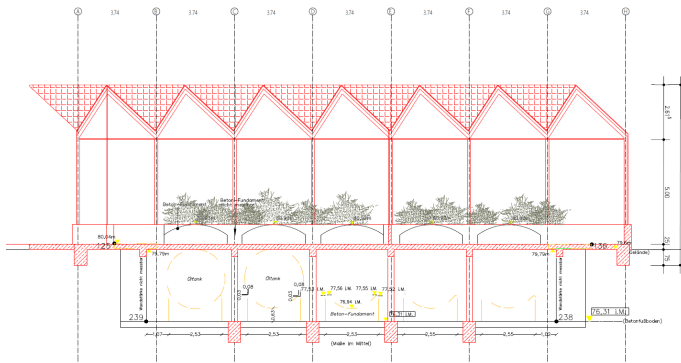
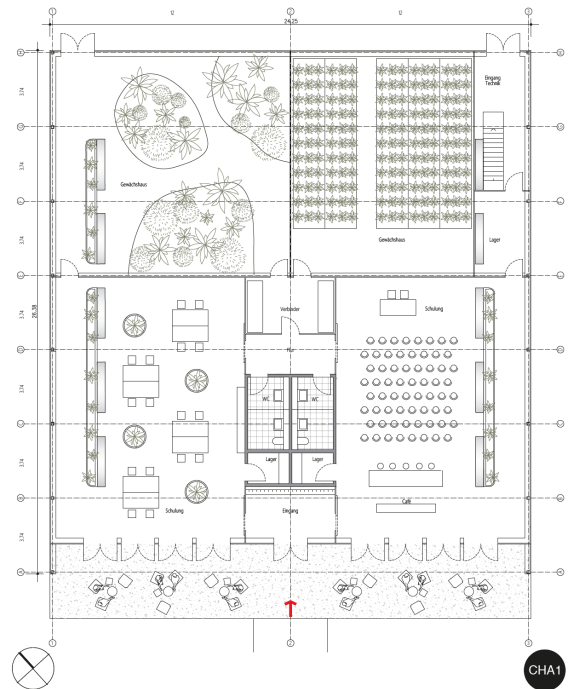


Abb.87 Schnitt mit Öltanklager und neuer Struktur (rot) [09]

Abb.88 Grundriss Schulungsgewächshaus [09] (rechts)



Das Schulungsgewächshaus ist über dem ehemaligen Öltanklager geplant und orientiert sich folglich in seinen Abmessungen auch an diesem. Die spezifische Glaswahl für Pflanz- und Schulungsbereiche spielt eine wesentliche Rolle. Horizontale Verglasungen bestehen aus hochtransparentem Glas, das durch seine optimalen Lichttransmissionswerte beste Bedingungen für das Pflanzenwachstum ermöglicht. Konventionelles Floatglas filtert zu viel Licht. Deshalb wird bei diesem Projekt ein neuartiges, hochtransparentes Glas (SGG DIAMANT von Saint Gobain) als Isolierverglasung mit einem Luftraum von 2cm zwischen den VSG-Glasscheiben verbaut. Die Dachkonstruktion wird aus Fachwerkträgern (Dreigurtbindern) gebildet. Eine Besonderheit bilden die Dach- und Fassadenpaneele, die sich mit ihrer Position an die Witterung anpassen können und so die Verschattung und Ventilation im Gebäude regulieren.



Abb.89 Rendering Schulungsgewächshaus über dem Fundament des Öltanklagers

4.1.2 Energie- und Klimatechnik

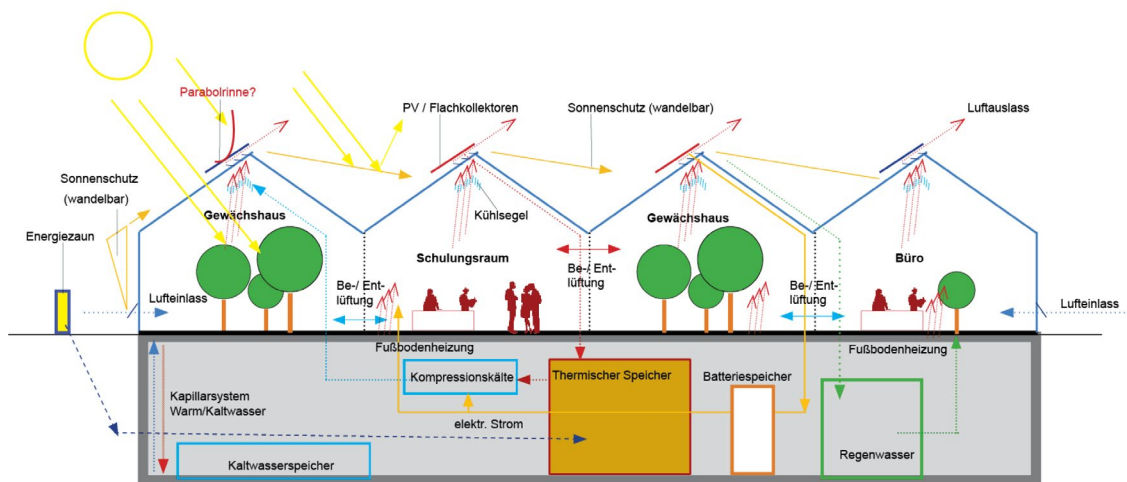


Abb.90 Schematische Skizze des Schulungsgewächshauses auf den Fundamenten des Ötanklagers

Auf dem Gelände der Gärtnerei im Grunewald befindet sich die Betonwanne mit ehemaligem Öllager. Der neue Standort bringt neue Fundamente, ein größeres Gebäude und Kellerräume mit sich, die für Wärme/Kältespeicher genutzt werden können. Die Umnutzung des Öllagers verhindert die unnötige Bodenversiegelung.

Die beiden Zonen der Klimahülle benötigen deutlich unterschiedliche Mengen an Licht: Während im Gewächshaus Pflanzen möglichst viel Licht zur Photosynthese bekommen sollen, stört und heizt Licht unnötig beim Arbeiten oder Vorträge halten im Schulungsteil. Daher wurde die Raumaufteilung so geplant, dass sich der Pflanzenbereich in der Südosthälfte befindet, die mehr Sonnenstrahlung empfängt als die kühlere und dunklere Nordwesthälfte, welche hinsichtlich der Nutzungsanforderungen ideal für die Schulungszone geeignet ist.

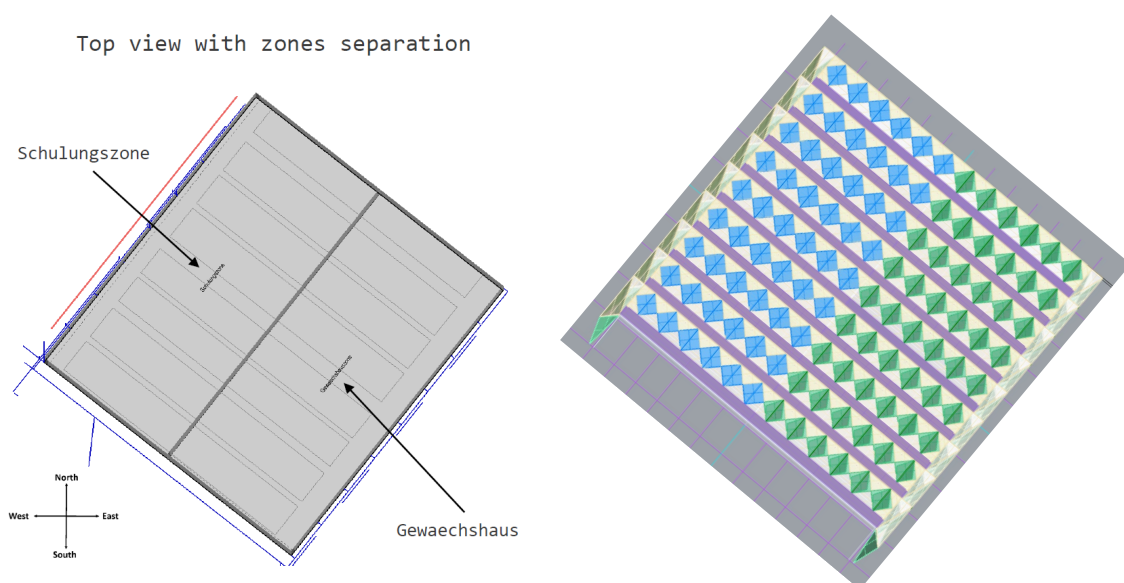


Abb.91 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit geschlossener Dachverschattung [Anhang A2]

Abb.92 3D-Modell der Bereiche des Schulungsgewächshauses [Anhang A2]

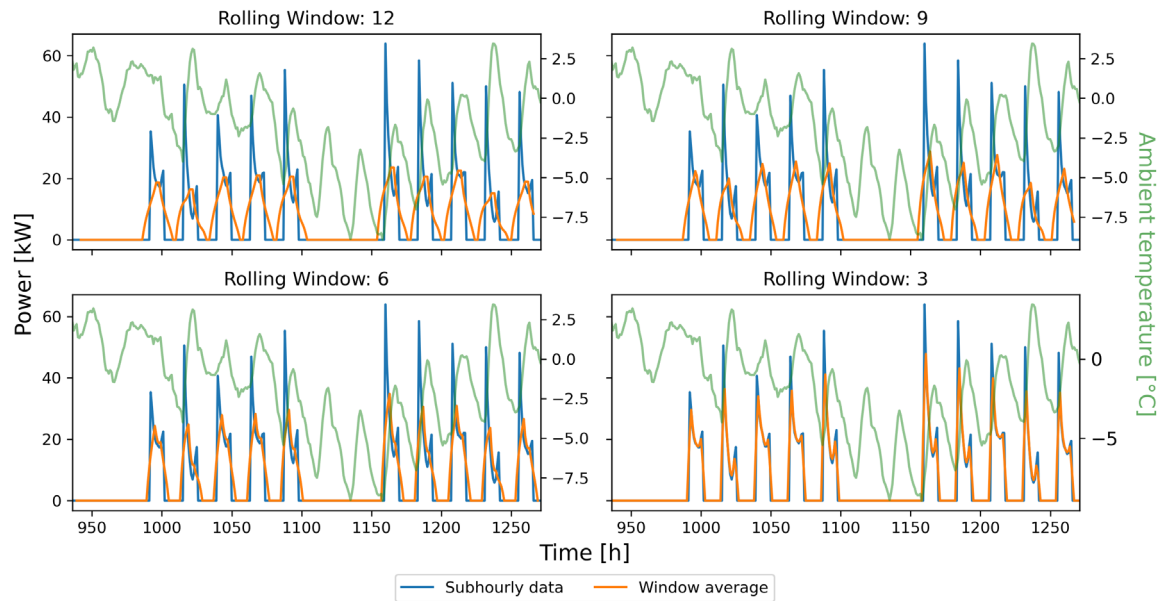


Abb.93 Simulation der Energie [Anhang A2]

Die hohen Leistungsspitzen (62 kW) für das Heizen und Kühlen (16 kW) ergeben sich aus dem Fahrplan (Betrieb von 8-18 Uhr von Montag bis Freitag), v.a. aus dem plötzlichen Ändern der Solltemperatur morgens um 8 Uhr. Die Spitzen lassen sich durch vernünftige Regelung (rechtzeitiges Einschalten) erheblich glätten, was die Haustechnik – kleinere Aggregate und gleichmäßigerer Betrieb - in Anschaffung und Betrieb günstiger machen sollte. Abb. 93 zeigt eine deutliche Verringerung der Spitzenwerte der Heizlasten für die Schulungszone durch vorausschauende Betriebsweise auf ca. 1/3 bzw. 1/2 gegenüber kurzfristiger Fahrweise. Die Spitzenleistung ist vor allem morgens und nach dem Wochenende besonders hoch.

Durch die spezifische Anpassung der Geometrie und Verschattung während der Projektentwicklung ergeben sich niedrige Werte für Heiz- und Kühllast. Insbesondere konnte vor allem der Heizenergiebedarf im Vergleich zur Ausgangsvariante der Planung durch etwa halbiert werden.

Der spezifische Heizbedarf entspricht für den Schulungsteil dem von durchschnittlichen Bestandswohngebäuden ($\sim 0.1 \text{ MWh/a/m}^2$), während der Gewächshausteil dank der hohen Temperaturtoleranz fasst an ein Passivhaus heranreicht. Kaskadierung der Lüftung oder Wärmerückgewinnung kann den Energieverbrauch weiter reduzieren.

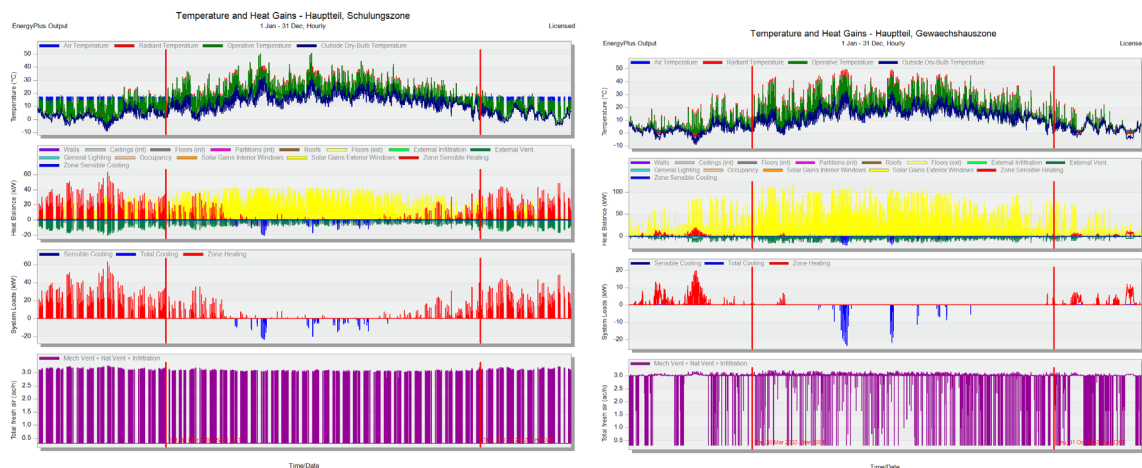


Abb.94 Jahressimulation der Heiz- und Kühlleistungen für Schulungs- und Gewächshausteil [Anhang A2]

4.1.3 Bioklimatisches Monitoring

Das Fachgebiet Klimatologie der TU Berlin verantwortete in diesem Projekt die Entwicklung und Implementierung eines umfassenden bioklimatischen Monitoringsystems. Dieses System basiert auf kosteneffizienten, multifunktionalen Messstationen, die zentrale Umweltparameter wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Lichtintensität, Strahlungstemperatur, UV-Intensität, CO₂-Gehalt und Windgeschwindigkeit erfassen.

Ein zentraler Bestandteil des Monitoringsystems ist das biometeorologische Messinstrument „BioMet“. Dieses Gerät nutzt eine Vielzahl spezialisierter Sensoren zur Erfassung der Umweltparameter und speichert die Daten sowohl lokal als auch auf der IoT-Plattform ThingSpeak.

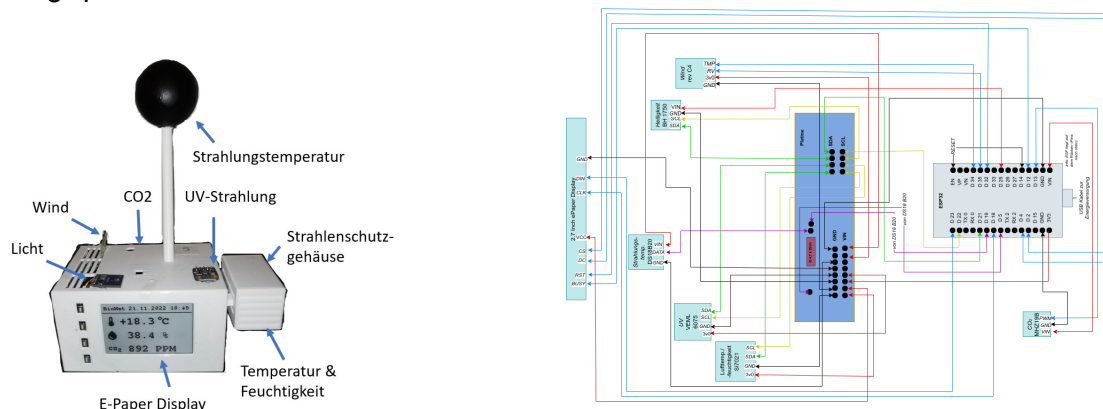


Abb.95 Foto und Beschreibung der BioMet Station mit Darstellung der Sensorik [Anhang A3] (links)

Abb.96 Verkabelung der BioMet Station schematisch [Anhang A3] (rechts)

Die gewonnenen Daten dienen der präzisen Steuerung der Klimabedingungen im Büro zur Gewährleistung eines thermisch komfortablen Arbeitsumfeldes. Der Universal Thermal Climate Index (UTCI) spielt hierbei eine wesentliche Rolle, da er meteorologische und physiologische Parameter integriert und so eine differenzierte Bewertung der thermischen Bedingungen ermöglicht. Mit den über den Zeitraum eines ganzen Jahres ermittelten Messergebnissen konnte- unter Berücksichtigung bestimmter Voraussetzungen wie Lüftung und Belichtung- der positive Effekt einer symbiotischen Nutzung der beiden Räume für Mensch und Pflanze nachgewiesen werden. So konnte insbesondere im Sommer ein kühlender Effekt der Pflanzen im Gewächshaus in den Nachmittagsstunden von 17 bis 19 Uhr mit Temperaturdifferenzen von bis zu -3°C nachgewiesen werden, welches sich auch positiv auf die Behaglichkeit und den UTCI-Wert auswirkt.

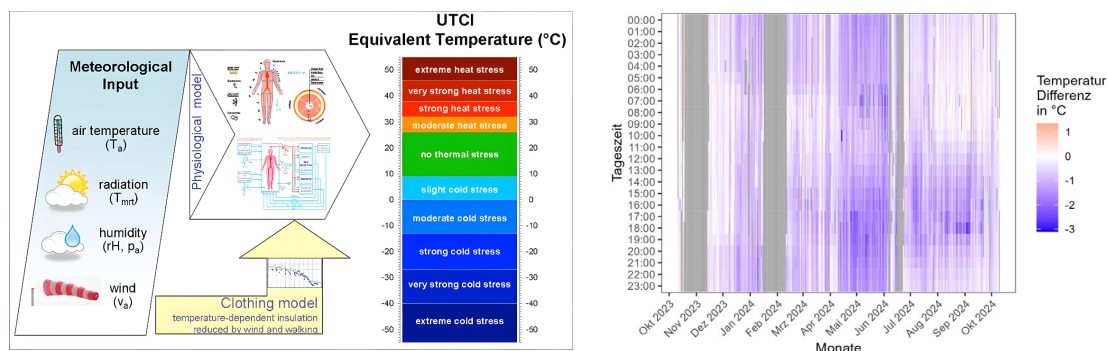


Abb.97 UTCI Modell - Berechnungsgrundlage und Klassifizierung schematisch [Anhang A3] (links)

Abb.98 Isoplethendiagramm – stündliche Differenz der Lufttemperatur in °C nach Tageszeit Anhang A3] (rechts)

5 Resumé und Ausblick

Wie im Forschungsantrag beschrieben wurde zunächst in einer 1. Planungsphase aller Projektpartner ein integrales Gebäudekonzept für zwei aneinander angrenzende Gewächshausräume für „Mensch und Pflanze“ als Neubau entwickelt, berechnet und simuliert. Jedoch wurde während der 2. Phase die Notwendigkeit der beschriebenen Änderungen der grundlegenden Rahmenbedingungen (neuer Bauplatz und Bauen im Bestand) des Forschungsprojektes bekannt. Daher mussten daraufhin viele Arbeitspakete nach der ersten Konzeptphase unterbrochen und neu durchgeführt werden. Dies erwies sich bei dem Neubau auf dem Bestandsfundament, auf das das gesamte Design, samt Haupttragwerksgerüst und Anschlüssen sowie die im Forschungsprojekt neu entwickelten Gebäudekomponenten (Glashülle, wandelbarer Sonnenschutz, solarthermische Anlage, Klima- und Regelungstechnik) reagieren mussten, als große Herausforderung, welche mit einem erheblichen zeitlichen, forschungsspezifischen und projektkoordinativen Mehraufwand verbunden war.



Abb.99 Mock-Up in der TU-Berlin Versuchshalle

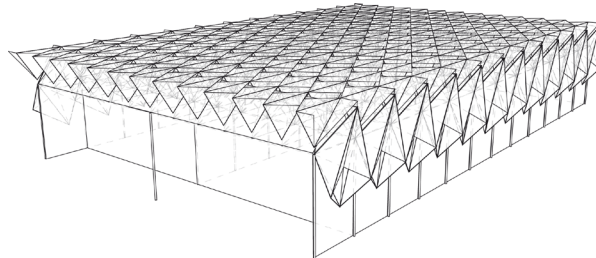


Abb.100 3D-Modell des Schulungsgewächshauses

Damit dennoch sämtlich Inhalte des Forschungsprojektes bearbeitet und erfolgreich abgeschlossen werden konnten, wurde die Arbeit am Mock-Up intensiviert und viele Simulationen und empirische Versuche hierbei kleinmaßstäblich zumeist in der Versuchshalle der TU Berlin durchgeführt.

Bei der folglich durchgeführten Bearbeitung des Projektes konnten im Mock-Up an der TU Berlin überraschend viele positive Messergebnisse, z.B. der Abkühlwirkung durch die Pflanzen festgestellt werden. Hier konnte bei 42°C Temperatur in der Versuchshalle im Juni 2023 eine um knapp 10 °C (!) kühlere Temperatur im abgetrennten Pflanzenbereich gemessen werden. Diese Effekte auf das Bioklima im Schulungsbereich sind essentielle Voraussetzung für das Funktionieren des Schulungsgewächshauses im größeren Maßstab.



Abb.101 Foto des Öltanklagers nach Entnahme von 3 Öltanks

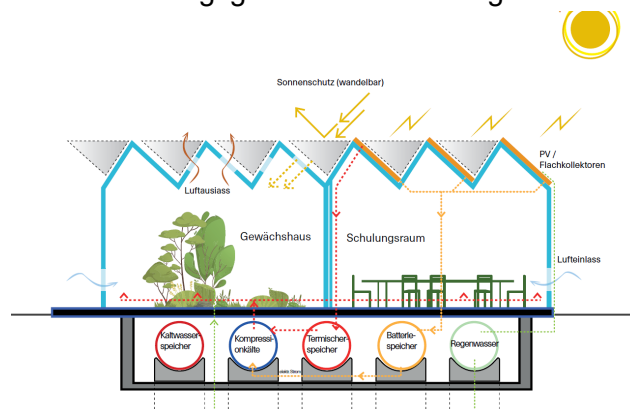


Abb.102 Schematischer Schnitt des Schulungsgewächshauses mit Nutzung der verbleibenden Tanks

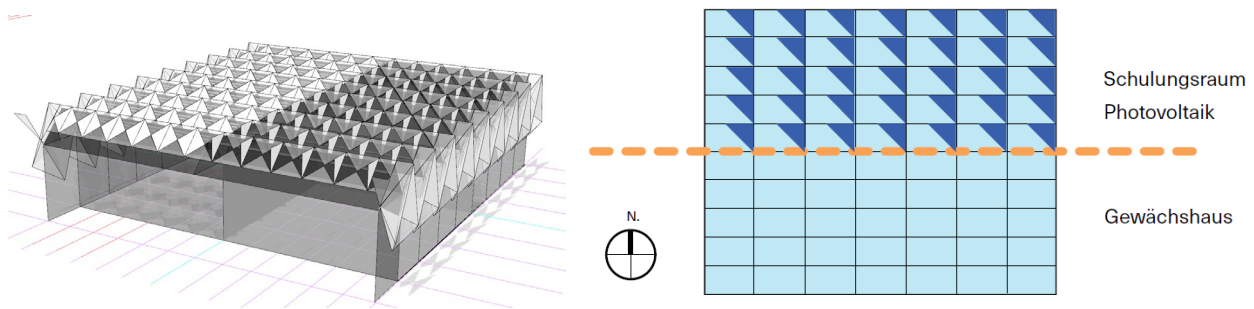


Abb.103 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit Photovoltaik- und Verschattungsbereichen

Abb.104 Schematische Aufteilung des Schulungsgewächshauses mit Photovoltaik+ Verschattungsbereichen [09]

Nach dem Beschluss der Verlegung des Bauplatzes auf das bestehende Gebäude des hier befindlichen und nicht mehr genutzten Öltanklagers, der Durchführung eines Eingriffgutachtens zum ökologischen Ausgleich und eines Gutachtens zur Statik des Bestandsfundaments, der Entnahme des Bestandsdaches sowie drei alter Öltanks (2 von 5 bleiben als Regenwassertank erhalten) wurden weitere Schritte für die bauliche Umsetzung des Projektes in die Wege geleitet: Die genaue Anpassung und Integration der Forschungsergebnisse in die konkrete Architekturplanung des Schulungsgewächshauses auf die bestehenden Fundamente des Öltanklagers wurde gemeinsam mit den Kooperationspartnern und dem für die Planungsleistungen beauftragten Architekturbüro (Haas Architekten) abgestimmt und planerisch umgesetzt.

Das Mock-Up der Gewächshausstruktur, inklusive wandelbarer Verschattungselemente in Dach und Fassade vom FG Entwerfen und Konstruieren-Massivbau (TU Berlin) gemeinsam mit der FA Modesta wurde im Rahmen des Projektes fertiggestellt. Die Montage und der Aufbau der Elemente (Glas und Stahlbau) ist abgeschlossen und die wandelbaren Elemente wurden erfolgreich auf ihre Praxistauglichkeit – zumindest unter Laborbedingungen getestet (Schlagregenstand, Dauerstandversuch, Belastungstests). Eine explizite Testung des Mock-Ups im Außenraum steht noch aus und wird seitens der Verfasser dringend empfohlen.

Die Pflanzkonzepte sowie die spezifische Gewächshauskonzeption wurden erfolgreich für die Durchführung der bioklimatischen Versuche „Mensch und Pflanze“ im Mock-Up angewandt und können im nächsten Schritt in der Bezirksgärtnerei Charlottenburg-Wilmersdorf angewandt werden.

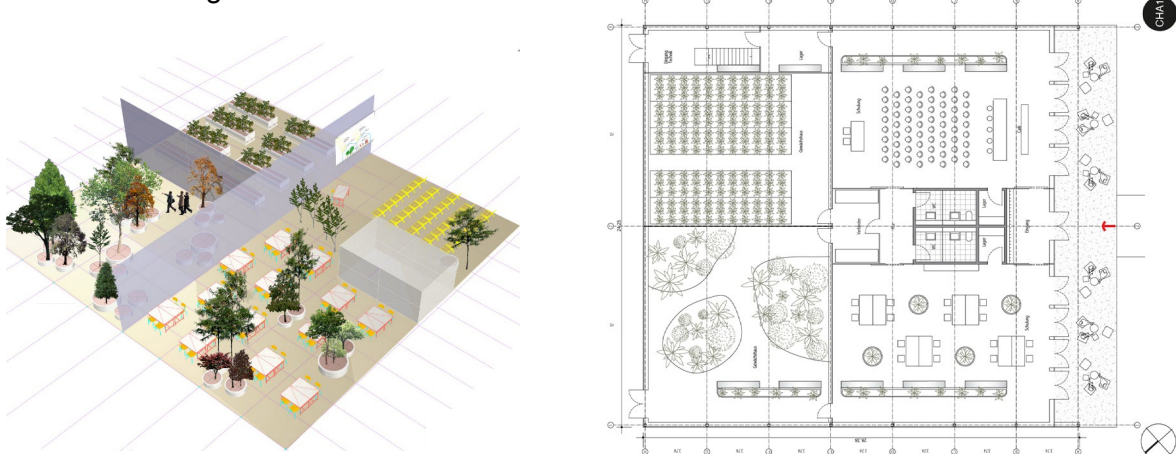


Abb.105 3D-Modell+ Collage des kombinierten Nutzungskonzeptes mit Pflanz- und Schulungsbereichen (links)

Abb.106 Grundriss Schulungsgewächshaus [09] (rechts)

Die fortlaufende Erhebung und Analyse dieser Daten mittels der im Projekt entwickelten BioMet Stationen dient der Optimierung der Wachstumsbedingungen für Pflanzen, der Verbesserung der Arbeitsbedingungen für Menschen und der Reduzierung des Energieverbrauchs. Das Projekt liefert somit wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung nachhaltiger Gebäudetechnologien, die langfristig zur Steigerung der Energieeffizienz und Lebensqualität in solchen hybriden Räumen beitragen können.

Charakteristika Instanzen	Fläche [m²]	Bezugsgröße	Einsparpotenzial [MWh/a]	Nutzungspotenzial
1: ein Gewächshaus	400		200 MWh/a	- Größere Temperatur- spanne - Wechselnde Saat
2: Bezirksgärtnerei	3.600		1.800 MWh/a	- Effizienz durch Kopplung der Gewächshäuser untereinander - Effiziente Ausnutzung der Gebäudetechnik - Gebäudenutzung für Mensch und Pflanze möglich
3: zwölf Gartenbauschulen	4.800		2.400 MWh/a	
4: Gewächshaus- bestand in Deutschland	33.930.000		*16.965.000 MWh/a	
* Dies entspricht circa 40,6 % des Endenergieverbrauchs 2015 (41,8 TWh) in der Landwirtschaft und im Gartenbau				

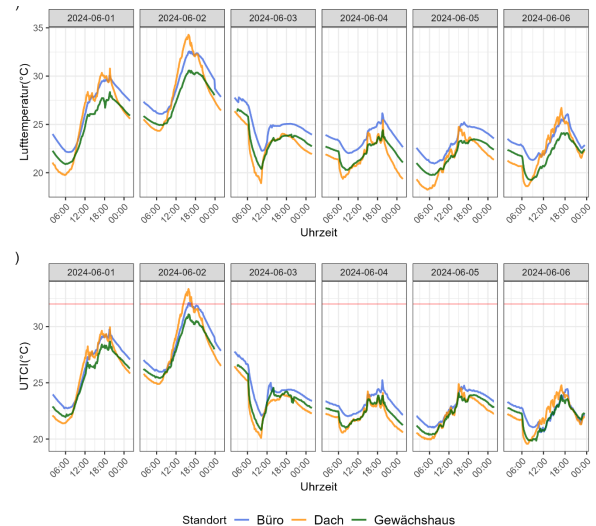


Abb.107 Einsparpotenzial der Bezirksgärtnerei und der Gartenarbeitsschulen Berlin (links)

Abb.108 Zeitreihenplot der BioMet Stationen in den drei Räumen. Dargestellt werden die Variablen Lufttemperatur (oben) und UTCI (unten)

So konnte empirisch nachgewiesen werden, dass beispielsweise die Lufttemperatur und der UTCI-Wert im Gewächshaus durchgehend etwas niedriger als im Büro sind (s. Abb. 107). Ebenso kann eine symbiotische Nutzung nachweislich zur Verbesserung der Luftqualität beitragen. Bei erhöhter Helligkeit sind höhere Abbauraten von CO₂ im Gewächshaus zu beobachten gewesen. Folglich konnten alle Maßnahmen des Projektes zu einer Verbesserung der thermischen Behaglichkeit beitragen und auch nachgewiesen werden.

Abschließend kann vom Projektteam der Kooperationspartner ein sehr positives Fazit des Folgeprojektes gezogen werden. Sämtliche Arbeitspakete wurden, sogar an einem neuen, schwieriger zu planenden Bauplatz- auf dem alten Öltanklager statt auf der „freien Wiese“- angepasst, vollumfänglich erarbeitet und erfolgreich abgeschlossen.

Der Aspekt der Wandelbarkeit macht das Schulungsgewächshaus nutzerfreundlich und deutlich nachhaltiger im Betrieb als vergleichbare Gewächshäuser. Der Aspekt der hybriden und symbiotischen Nutzung mit Pflanzen erhöht den Grad des Wohlfühlfaktors und konnte in dem Projekt analytisch nachgewiesen und gemessen werden. Die aktive Nutzung der Solarenergie senkt nachgewiesenermaßen (siehe Anhang A2) die Betriebskosten und entlastet die Umwelt.

Somit konnte gemeinsam mit dem Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf als Bauherr insgesamt ein überzeugendes Forschungskonzept mit entsprechenden Ergebnissen für eine erfolgreiche Ausschreibung der Planungsleistungen erarbeitet und zur Verfügung gestellt werden. Diese Ergebnisse können in ihrer in dieser Form erstmaligen ganzheitlichen Betrachtung eines hybriden Büro-Gewächshauses als explizites Vorbild und Basis für weitere spezifische Studien und Projekte sowohl von Gewächshäusern- als auch Büro- oder Bildungseinrichtungen dienen.

6 Abbildungsverzeichnis

01	Bezirksgärtnerei Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf [TU Berlin]	S.1
02	Bezirksgärtnerei Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf [TU Berlin]	S.1
03	Skizze des Lageplans des Prototyps in der Bezirksgärtnerei B-Charlottenburg-Wilmersdorf [4]	S.1
04	Gewächshaus Univ. Frankfurt/M [TU Berlin]	S.1
05	Bezirksgärtnerei Berlin [4]	S.1
06	Bezirksgärtnerei Berlin [4]	S.1
07	Jahresenergieverbrauch pro m ² Gewächshausfläche anhand der Wärmekennzahl [4]	S.2
08	Schema kombinierte Nutzung [4]	S.2
09	Foto Mock-Up [TU Berlin]	S.2
10	Auszug Grundriss [9]	S.2
11	Gewächshaus der FU Berlin [4]	S.3
12	Bürohaus London [4]	S.3
13	Schemata des bioklimatischen Kreislaufs des kombinierten Büro-Gewächshauses in B-Charlottenburg [4]	S.3
14	Gewächshaus Wagenigen Universität [14]	S.4
15	Schema des Schulungsgewächshauses [4]	S.4
16	Büroraum Renzo Piano, Genua [13]	S.4
17	Gartenarbeitsschule Berlin Charlottenburg [4]	S.4
18	Gartenarbeitsschule Berlin-Pankow Inhalt [4]	S.4
19	Einsparpotential [MWh/a] in Abhängigkeit der Fläche [4]	S.4
20	Forschungsgewächshaus Frankfurt / M. [TU Berlin]	S.5
21	Komponenten Klimahülle [5]	S.5
22	Verschattungselemente der University of Southern Denmark – Campus Kolding [4]	S.5
23	Transmittierte Sonnenstrahlung mit und ohne Sonnenschutz [4]	S.6
24	Simulation der Konvektion [4]	S.6
25	Schema des geplanten Gebäudetechnikkonzeptes [4]	S.6
26	Gewächshaus-Prototyp mit Bioklima-Monitoring in den Büro- und Schulungsräumen [4]	S.7
27	Bioklima-Messstation [4]	S.7
28	Schema einer Variantenstudie des Schulungsgewächshauses [TU Berlin]	S.8
29	Schemata der unterschiedlichen Versuchsaufbauten/ Austausch zwischen den beiden Gebäudezonen [TU Berlin]	S.8
30	Gewächshaus FU Berlin [4]	S.9
31	Büro im Gewächshaus, Tübingen [2]	S.9
32	Büroraum, Berlin [4]	S.9
33	Simulation der Konvektion [3]	S.9
34	Semipermeable Verschattung [12]	S.9
35	System Eisspeicher [TU Berlin]	S.9
36	Luftbild der Bezirksgärtnerei [TU Berlin]	S.10
37	Geplante Lage des Neubaus (orange) auf dem Gelände [TU Berlin]	S.10
38	Fotos „Breitschiff-Gewächshäuser“ auf dem Gelände [4]	S.10
39	Fotos „Breitschiff-Gewächshäuser“ auf dem Gelände [4]	S.10
40	Schema hybride Nutzung [5]	S.10
41	Skizze des Neubaus (orange) auf dem Gelände [TU Berlin]	S.10
42	Lageplan des Neubaus auf dem Gelände [TU Berlin]	S.10
43	Schema der Variantenstudie des kombinierten Nutzungskonzeptes des Neubaus [TU Berlin]	S.11
44	Bereich: Forschungsbotanik [4]	S.11
45	Gärtnereibereich 1 Saat- u. Mischnutzung [4]	S.11
46	Gärtnereibereich 2 Pflanzbeete [4]	S.11
47	Versuchsaufbau Messungen / 3 Varianten zum Versuchsaufbau [TU Berlin]	S.12
48	3D-Modell Mock-Up offene Verschattungen [TU Berlin]	S.12
49	3D-Modell Mock-Up geschlossene Verschattungen [TU Berlin]	S.12
50	3D-Modell Mock-Up geschlossene Verschattungen [TU Berlin]	S.13
51	Bau des Mock-Ups, Werkstatt Modesta [TU Berlin]	S.13
52	Aufbau des Mock-Ups, Versuchshalle TU Berlin [TU Berlin]	S.13
53	Einbau der Verglasung im Mock-Up, TU Berlin [TU Berlin]	S.13
54	3D-Modell Mock-Up geschlossene Verschattungen [08]	S.13
55	Bau der Verschattungselemente, Werkstatt Modesta [TU Berlin]	S.13
56	Aufbau des fertigen Mock-Ups ohne Verschattungen, Versuchshalle TU Berlin [TU Berlin]	S.14

- 57 Aufbau des fertigen Mock-Ups mit wandelbaren Dachverschattungselementen, Versuchshalle TU Berlin [TU Berlin] S.14
- 58 Experimentelle Untersuchung der Lichtintensität des Glases im Innen- und Außenraum, TU Berlin [06] S.14
- 59 Schematische Skizze des Versuchsaufbaus „bioklimatische Messungen“ im Mock-Up [TU Berlin] S.15
- 60 Fotos Versuchsaufbau „bioklimatische Messungen“ im Mock-Up, Versuchshalle TU Berlin [TU Berlin] S.15
- 61 Fotos Versuchsaufbau „bioklimatische Messungen“ im Mock-Up, Versuchshalle TU Berlin [TU Berlin] S.15
- 62 3D-Modell zur gebäudeintegrierten Photovoltaik im Mock-Up [TU Berlin] S.15
- 63 3D-Modell mit Verschattungssimulation der gebäudeintegrierten Photovoltaik im Mock-Up [TU Berlin] S.15
- 64 Luftbild der Bezirksgärtnerei [TU Berlin] S.16
- 65 Geplante Lage des Neubaus auf dem Fundament des Öltanklagers [TU Berlin] S.16
- 66 Fotos des Öltanklagers außen und innen [TU Berlin] S.16
- 67 Fotos des Öltanklagers außen und innen [TU Berlin] S.16
- 68 Auszug aus Vermessungsplänen Öltanklager [TU Berlin] S.16
- 69 Auszug aus dem Eingriffsgutachten [11] S.16
- 70 Foto des Öltanklagers nach Entnahme von 3 Öltanks [TU Berlin] S.16
- 71 Fotos des Öltanklagers außen [TU Berlin] S.17
- 72 Fotos des Öltanklagers außen [TU Berlin] S.17
- 73 Foto des Öltanklagers nach Entnahme von 3 Öltanks [TU Berlin] S.17
- 74 3D-Modell des Fundamentes des Öltanklagers [TU Berlin] S.17
- 75 Schematische Darstellung Deckenkonstruktion [10] S.17
- 76 3D-Modell des Bauabschnitts 1 [TU Berlin] S.17
- 77 3D-Modell des Bauabschnitts 2 [TU Berlin] S.17
- 78 3D-Modell des Bauabschnitts 3 [TU Berlin] S.18
- 79 3D-Modell des Bauabschnitts 4 [TU Berlin] S.18
- 80 3D-Modell und Proportionen des gesamten Tragwerks mit wandelbaren Verschattungen [TU Berlin] S.18
- 81 3D-Modell und Proportionen eines Tragwerkmoduls mit wandelbaren Verschattungen [TU Berlin] S.18
- 82 3D-Modell mit dachintegrierter Photovoltaik [TU Berlin] S.18
- 83 3D-Modell+ Collage des kombinierten Nutzungskonzeptes mit Pflanz- u. Schulungsbereichen [TU Berlin] S.18
- 84 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit Photovoltaik- und Verschattungsbereichen [TU Berlin] S.19
- 85 3D-Modell mit Eisspeicher und Energiezaun (schematisch) [TU Berlin] S.19
- 86 Systemskizze Vernetzung der Institutionen im Schulungskonzept [TU Berlin] S.19
- 87 Schnitt mit Öltanklager und neuer Struktur (rot) [09] S.20
- 88 Grundriss Schulungsgewächshaus [09] S.20
- 89 Rendering Schulungsgewächshaus über dem Fundament des Öltanklagers [TU Berlin] S.20
- 90 Schematische Skizze des Schulungsgewächshauses auf den Fundamenten des Öltanklagers [TU Berlin] S.21
- 91 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit geschlossener Dachverschattung [Anhang A2] S.21
- 92 3D-Modell der Bereiche des Schulungsgewächshauses [Anhang A2] S.21
- 93 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit partieller Dachverschattung [Anhang A2] S.22
- 94 Simulation der Energie [Anhang A2] S.22
- 95 Foto und Beschreibung der BioMet Station mit Darstellung der Sensorik [Anhang A3] S.23
- 96 Verkabelung der BioMet Station schematisch [Anhang A3] S.23
- 97 UTCI Modell - Berechnungsgrundlage und Klassifizierung schematisch [Anhang A3] S.23
- 98 Isoplethendiagramm – stündliche Differenz der Lufttemperatur in °C nach Tageszeit [Anhang A3] S.23
- 99 Mock-Up in der TU-Berlin Versuchshalle [TU Berlin] S.24
- 100 3D-Modell des Schulungsgewächshauses [TU Berlin] S.24
- 101 Foto des Öltanklagers nach Entnahme von 3 Öltanks [TU Berlin] S.24
- 102 Schematischer Schnitt des Schulungsgewächshauses mit Nutzung der verbleibenden Tanks [TU Berlin] S.24

- 103 3D-Modell des gesamten Schulungsgewächshauses mit Photovoltaik- und Verschattungsbereichen [TU Berlin] S.25
104 Schematische Aufteilung des Schulungsgewächshauses mit Photovoltaik+ Verschattungsbereichen [09] S.25
105 3D-Modell+ Collage des kombinierten Nutzungskonzeptes mit Pflanz- und Schulungsbereichen [TU Berlin] S.25
106 Grundriss Schulungsgewächshaus [09] S.26
107 Einsparpotenzial der Bezirksgärtnerei und der Gartenarbeitsschulen Berlin [TU Berlin] S.26
108 Zeitreihenplot der BioMet Stationen in den drei Räumen [TU Berlin] S.26

7 Literaturverzeichnis

- [1] Schlaich J., Dechow, P., and Weinrebe, G.: *Klimahüllen für Gewerbegebiete*. Bauwerk Verlag GmbH, Stuttgart, 2008.
- [2] D. Schempp, M. Krampen, J. Frantz, S. Weißinger: *Mensch, Raum und Pflanze*. Thalacker Medien, Braunschweig, 1997
- [3] TU Berlin FG Entwerfen und Konstruieren – Massivbau: Peissl, D. Schlaich, M. und sbp sonne gmbh, Weinrebe, G.: *Entwicklung eines Prototyps für energetisch aktive und wandelbare Klimahüllen für eine Kita in Blankenfelde-Mahlow*. 2016, Schlussbericht.
- [4] TU Berlin FG Entwerfen und Konstruieren – Massivbau: Peissl, D., Schlaich, M. sbp sonne gmbh: Weinrebe, G. ; „*Entwicklung, Planung und Bau eines neuartigen, wandelbaren Gebäudeprototypen für die symbiotische Nutzung eines energieautonomen Schulungsgewächshauses in Berlin*“ 2019, Forschungsantrag.
- [5] TU Berlin FG Entwerfen und Konstruieren – Massivbau: Peissl, D. Schlaich, M. und sbp sonne gmbh, Weinrebe, G.: *Beispielhafte Umsetzung einer energetisch aktiven und wandelbaren Klimahülle zur Sanierung der Kita Tabaluga in Blankenfelde-Mahlow*. 2025, Schlussbericht.
- [6] Schneider, A. Experimentelle Untersuchung der Lichtintensität einer Klimahülle mit wandelbarer Verschattungsstruktur Fachbereich Entwerfen und Konstruieren - Massivbau der TU Berlin, Schlaich, M., Peissl, D. Berlin, 2022. Studienarbeit.
- [7] Susanov, P. : Entwurf, Bemessung, konstruktive Durchbildung und der Bau eines Modells einer wandelbaren Dachverschattung für eine energetisch aktive Klimahülle, Fachbereich Entwerfen und Konstruieren - Massivbau der TU Berlin, Schlaich, M., Peissl, D. Berlin, 2021. Masterarbeit.
- [8] Egerer, F. : Entwurf, Bemessung und konstruktive Durchbildung einer wandelbaren Fassadenverschattung für eine energetisch aktive Klimahülle, Fachbereich Entwerfen und Konstruieren - Massivbau der TU Berlin, Schlaich, M., Peissl, D. Berlin, 2019. Masterarbeit.
- [9] ARGE LP2 Haas Architekten: Abgabe zu LP2 für „Schulungsgewächshaus“, 2024-06-21
- [10] Gutachten Bestandsgebäude Öltanks, schlaich bergemann partner 03.05.2021

[11] Eingriffsgutachten zum Bauvorhaben Prototyp eines bioklimatischen Schulungs-,
AGU I GOLDMANN Landschaftsarchitektur 07.10.2022

[12] <https://www.dezeen.com/2015/07/14/henning-larsen-syddansk-universitet-sdu-kolding-campus-building-denmark-green-standards-university/> [Zugriff am 08.10.2025]

[13] <http://www.ilovecuriosity.com/de/renzo-piano-building-workshop/> [Zugriff am 15.09.2025]

[14] www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2018/wetter/im-treibhaus

8 Anhänge (in separater Datei)

A1 Anhang zum Themenbereich: Tragwerk, Architektur und Wandelbarkeit

A2 Anhang zum Themenbereich: Energie und Klimatechnik

A3 Anhang zum Themenbereich: Bioklimatisches Monitoring

A4 Anhang zum Themenbereich: Eis-Energiespeichersystem

A5 Anhang zum Themenbereich: Bau des Mock-Ups

A6 Anhang zum Themenbereich: Botanisches Konzept

A7 Anhang zum Themenbereich: Didaktisches Konzept

A8 Anhang zum Themenbereich: Auszug Generalplanungsprojekt